

**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE PODAS MEDIANTE COMPOSTAJE  
EN LA ESCUELA MILITAR DE AVIACIÓN “MARCO FIDEL SUÁREZ”**

**SUSANA CARDONA CASTELBLANCO  
LEIDY JOHANNA HERNÁNDEZ RIOS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES  
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LOS  
RECURSOS NATURALES  
SANTIAGO DE CALI  
2008**

**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE PODAS MEDIANTE COMPOSTAJE  
EN LA ESCUELA MILITAR DE AVIACIÓN “MARCO FIDEL SUÁREZ”**

**SUSANA CARDONA CASTELBLANCO  
LEIDY JOHANNA HERNÁNDEZ RIOS**

**Pasantía para optar al título de  
Administradoras Ambientales**

**Director  
JOSÉ MILLER GALLEGOS  
Ingeniero Agrónomo**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES  
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LOS  
RECURSOS NATURALES  
SANTIAGO DE CALI  
2008**

**Nota de aceptación:**

**Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Administradoras Ambientales.**

**Ing. JOSÉ MILLER GALLEGO**  
**Director**

**Bióloga MARTHA LUCÍA PALACIOS**  
**Jurado**

**Santiago de Cali, 25 de Febrero de 2008**

## CONTENIDO

|  | Pág. |
|--|------|
| RESUMEN  | 13   |
| INTRODUCCIÓN   | 16   |
| 1. JUSTIFICACIÓN                                       | 18   |
| 2. ANTECEDENTES  | 20   |
| 3. OBJETIVOS   | 26   |
| 3.1 OBJETIVO GENERAL                                   | 26   |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS                              | 26   |
| 4. MARCO TEÓRICO                                       | 27   |
| 4.1. RESIDUOS DE PODA.                                 | 27   |
| 4.2. PROCESO DE COMPOSTAJE O COMPOSTING.               | 28   |
| 4.2.1. Reseña histórica.                               | 28   |
| 4.2.2. El concepto de compostaje.                      | 29   |
| 4.2.3. Parámetros involucrados en el proceso.          | 33   |
| 4.2.4. Etapas y duración del proceso de compostaje.    | 39   |
| 4.2.5. Problemas frecuentes y su solución.             | 41   |
| 4.3. MICROORGANISMOS ASOCIADOS E INÓCULOS MICROBIALES. | 42   |
| 4.4. USOS DEL COMPOST                                  | 47   |
| 4.4.1. Características del compost de calidad.         | 48   |
| 5. METODOLOGÍA   | 51   |



|   |    |
|---|----|
| 5.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL EN LA CUÁL SE LLEVÓ A CABO EL PROYECTO | 51 |
| 5.2. CUANTIFICACIÓN Y CUALIFICACIÓN DEL MATERIAL A COMPOSTAR                  | 52 |
| 5.3. ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE ESPECIES                                 | 54 |
| 5.4. MONTAJE DEL ENSAYO   | 54 |
| 5.4.1. Preparación del material.  | 55 |
| 5.4.2 Diseño experimental.  | 55 |
| 5.4.3. Adecuación del terreno y montaje de pila experimentales.               | 58 |
| 5.4.4. Monitoreo de las unidades experimentales.                              | 60 |
| 5.5 PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS  | 64 |
| 6. RESULTADOS   | 65 |
| 6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE PROPUESTO PARA LA EMAVI             | 65 |
| 6.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS COMPOSTADOS                              | 70 |
| 6.2.1 Caracterización Fisicoquímica (Relación C:N)                            | 70 |
| 6.2.2 Caracterización Cuantitativa.   | 70 |
| 6.2.3. Especies vegetales existentes en la EMAVI.                             | 70 |
| 6.2.4. Parámetros físico-químicos de control del proceso de compostaje        | 72 |
| 6.2.5. Parámetros físico-químicos de respuesta.                               | 76 |
| 6.2.6 Características microbiológicas del compost obtenido.                   | 78 |
| 6.2.7 Eficiencia del proceso de compostaje (balance de masas)                 | 79 |
| 6.2.8. Análisis de Varianza (ANOVA)   | 80 |

|  |    |
|--|----|
| 7. DISCUSIÓN                                 | 83 |
| 7.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPOSTADO  | 83 |
| 7.2 PARÁMETROS DE FÍSICO QUÍMICOS DE CONTROL | 83 |
| 7.3 PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DE RESPUESTA  | 86 |
| 7.4 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS               | 87 |
| 8. CONCLUSIONES                              | 88 |
| 9. RECOMENDACIONES                           | 90 |
| BIBLIOGRAFÍA                                 | 91 |
| ANEXOS                                       | 98 |

## LISTA DE TABLAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Clasificación de los sistemas de compostaje en función del proceso fermentativo.  | 33   |
| Tabla 2. Condiciones ideales para el compostaje  | 39   |
| Tabla 3. Problemas más frecuentes y su solución  | 42   |
| Tabla 4. Relación de microorganismos, temperatura y tiempo de exposición necesarios para la destrucción de algunos patógenos y parásitos comunes durante el compostaje | 45   |
| Tabla 5. Requisitos específicos de calidad para abonos orgánicos (NTC 5167).   | 48   |
| Tabla 6. Niveles máximos de microorganismos patógenos en compost obtenido  | 49   |
| Tabla 7. Distribución por área y porcentaje, de la cobertura y uso del suelo en la Escuela Militar de Aviación “MARCO FIDEL SUAREZ”.                                   | 52   |
| Tabla 8 Relación C:N en los Residuos de Poda de la EMAVI   | 70   |
| Tabla 9. Descripción de especies vegetales presentes en la EMAVI   | 70   |
| Tabla 10. Valores de Relación C:N a lo largo del proceso de compostaje para todos los tratamientos (T1,T2,T3,T4)   | 75   |
| Tabla 11. Comparación de parámetros físico-químicos con NTC-5167 y otros autores para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4)  | 77   |
| Tabla 12. Comparación de parámetros microbiológicos con NTC-5167 para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4)  | 79   |

## LISTA DE FIGURAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Montaje de las pilas en el sitio de ensayo   | 58   |
| Figura 2. Modelo y dimensiones de la pila de compost usada en el experimento   | 59   |
| Figura 3. Modelo y dimensiones de la pila de compost recomendadas  | 59   |
| Figura 4. Flujograma del proceso de compostaje anteriormente realizado en la EMAVI   | 65   |
| Figura 5. Flujograma del proceso de compostaje propuesto para la EMAVI   | 68   |
| Figura 6. Modelo de Compostera protegida por cubierta plástica   | 69   |
| Figura 7. Variación de la temperatura (°C) a lo largo del proceso de compostaje para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4) | 73   |
| Figura 8. Variación del pH a lo largo del proceso de compostaje para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4)                 | 74   |
| Figura 9. Variación de humedad a lo largo del proceso de compostaje para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4)             | 75   |
| Figura 10. Variación de la relación C:N a lo largo del proceso de compostaje para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4)    | 76   |
| Figura 11. Relación peso inicial – peso final para cada uno de los tratamientos (T1, T2, T3, T4)                             | 80   |
| Figura 12. ANOVA para la relación C:N en el tiempo 0 para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4)                            | 81   |
| Figura 13. ANOVA para la relación C:N en el tiempo 30 para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4)                           | 82   |
| Figura 14. ANOVA para la relación C:N en el tiempo 60 para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4)                           | 82   |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 15. Condiciones inundables del terreno                                | 102 |
| Figura 16. Proceso de compostaje anteriormente realizado en la EMAVI         | 102 |
| Figura 17. Acondicionamiento del terreno con terraplene                      | 102 |
| Figura 18. Elaboración de las camas  | 102 |
| Figura 19. Homogenización de los residuos a compostar                        | 103 |
| Figura 20. Pesaje de los residuos a compostar                                | 103 |
| Figura 21. Montaje y cubrimiento de las pilas de compost                     | 103 |
| Figura 22. Proceso de degradación de los residuos de poda                    | 103 |
| Figura 23. Extractor Kjeldahl  | 104 |
| Figura 24. Deseccador  | 104 |
| Figura 25. Balanza de precisión  | 104 |
| Figura 26. Proceso de degradación de materia orgánica y manejo de lixiviados | 104 |
| Figura 27. Distribución de las pilas en el terreno                           | 105 |
| Figura 28. Distribución de las pilas en el terreno                           | 105 |
| Figura 29. Disposición de residuos de poda a cielo abierto                   | 105 |
| Figura 30. Disposición de residuos de poda a cielo abierto                   | 105 |
| Figura 31. Disposición de residuos de poda a cielo abierto                   | 106 |
| Figura 32. Antiguo proceso de compostaje                                     | 106 |
| Figura 33. Compost obtenido para el tratamiento 1                            | 106 |
| Figura 34. Compost obtenido para el tratamiento 2                            | 106 |
| Figura 35. Compost obtenido para el tratamiento 3                            | 107 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 36. Compost obtenido para el tratamiento 4 | 107 |
| Figura 37. Compostera tipo invernadero en CAVASA  | 107 |
| Figura 38. Compostera tipo invernadero en CAVASA  | 107 |
| Figura 39. Pilas de compost de la planta CAVASA   | 108 |
| Figura 40. Pilas de compost de la planta CAVASA   | 108 |
| Figura 41. Trituradora de residuos de poda        | 108 |

## LISTA DE ANEXOS

|  | Pág. |
|--|------|
| Anexo 1. Determinación de relación C:N inicial en los tratamientos   | 98   |
| Anexo 2. Cuantificación y caracterización de los materiales agregados a los 150 días del proceso de compostaje | 100  |
| Anexo 3. Registro fotográfico  | 102  |
| Anexo 4. Folleto ilustrativo   | 109  |
| Anexo 5. Planta de la distribución del terreno del centro de compostaje  | 111  |
| Anexo 6. Certificados de análisis de laboratorio   | 112  |

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestros más sinceros agradecimientos a nuestros padres por el apoyo incondicional.

A la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” por brindarnos los recursos humanos y financieros para el desarrollo de nuestro trabajo, especialmente a:

- Cnel. Luis Armando Rojas.
- CT. Adrián Mira.
- Te. Diego Ríos.
- Cabo Marco Sabogal.
- Magda Patricia Rodríguez.
- Sammy Fernández.
- Soldados (Grupo de Seguridad).

A la Universidad Autónoma de Occidente por brindarnos el Laboratorio de Ciencias Ambientales para la realización de diversos análisis.

Al Laboratorio Ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) por su colaboración en la realización de los análisis del compost obtenido.

Al Ingeniero José Miller Gallego por la asesoría brindada para la realización de este trabajo.



## RESUMEN

La generación e inadecuado manejo de los residuos resultantes del mantenimiento de las zonas verdes de espacio público, siempre ha sido un problema por su alto volumen generado, ya que estos se consideran residuos sin ningún valor agregado. Por esto, su disposición final casi siempre se hace en terrenos baldíos, rellenos sanitarios o cualquier otro tipo de zonas, siendo esta práctica, inaceptable y violatoria de la legislación ambiental vigente.

Entre las alternativas para el aprovechamiento de estos residuos de poda, se encuentra el compostaje, que fue desarrollada en la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”.

Se realizó una cualificación del material vegetal a compostar por medio de análisis de laboratorio que permitieron determinar la Relación C:N inicial; pero por otra parte no fue posible cuantificar los residuos de poda que se generan.

Se conformaron pilas o camas en forma trapezoidal, en un terreno acondicionado con un terraplén, espaciándolas adecuadamente (aproximadamente un metro de distancia entre cada pila) para facilitar el control y muestreo de cada una de ellas. Se monitorearon diversos parámetros físico-químicos (Temperatura, aireación, pH y humedad) a lo largo del proceso, y se realizó una caracterización física, química y microbiológica del producto final. También se determinó la eficiencia del proceso.

Entre los resultados se encuentran la actualización del inventario de especies presentes en la Institución y el diseño del procedimiento más idóneo a seguir para implementar el proceso. Por otra parte, se obtuvieron valores de Relación C:N dentro de los rangos permisibles para ser utilizados como materia prima para la obtención de compost. De acuerdo a los análisis de laboratorio, el compost obtenido, el cual será utilizado como enmienda orgánica, cumple con todos los requerimientos establecidos por la Normatividad Colombiana, exceptuando los niveles de coliformes fecales y totales, que fueron significativamente altos. Se obtuvo una alta eficiencia del orden de 60% para todos los tratamientos. Por último, no se justifica el uso de EM en el proceso de compostaje para residuos de poda (por lo menos esta marca comercial Bacthon<sup>®</sup>), de acuerdo a los valores expresados mediante el Análisis de Varianza (ANOVA).

**Palabras claves:** Compostaje, Residuos de poda, enmienda orgánica, Microorganismos eficientes (EM).

## ABSTRACT

Production and incorrect waste management from green zones in communal spaces, always have been a problem because of the volume generated, that assume wastes implicates without any added value. Due to this, most of the times their final disposition is done in uncultivated lands, municipal dumps or other kind of zones, which is an unacceptable method, which also breaks the law.

Among the alternatives for using pruning wastes, is composting, that was developed in EMAVI (Escuela Militar de Aviación Marco Fidel Suarez).

A pruning waste for compost qualification was analyzed, which allowed to find out initial ratio Carbon: Nitrogen, however it was not possible quantify wastes generated.

Piles with trapeze shape were built, in a conditioned terrain with a mound, establishing a space between them (1 meter aprox).in order to facilitate control and sampling. Many different physical and chemical parameters were monitored: Temperature, pH, oxygen and moisture, during all the process; and a final physical, chemical and biological characterization was done of the product obtained. The process efficiency also was determined.

Among the results are: the actualization of the species inventory, design of the more adequate procedure for implementing composting at EMAVI. On the other hand, Ratio C:N values were within permissible limits for being used to obtain compost. According to lab analysis, the final product obtained, which will be used as an organic amendment, fulfills with all requirements established by the Colombian Legislation, excluding levels of fecal and total coliformes that were significantly elevated. A high efficiency process was obtained, about 60% for all treatments. Finally, it is not worthy using EM in the composting process for pruning wastes (at least this brand Bacthon<sup>TM</sup>), according to values expressed in Variance Analysis (ANOVA).

**Key words:** Composting, pruning wastes, organic amendment, Efficient Microorganisms.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la generación de residuos sólidos en los centros urbanos es un proceso con tendencia creciente. Unida a esta problemática y debido a otros múltiples factores socioeconómicos, la disponibilidad de espacios técnicamente adecuados para la disposición en el sitio final de estos residuos es también, cada vez menor.

El tratamiento y disposición final poco técnico de estos residuos, genera diversos problemas ambientales como son la contaminación del aire, del suelo, de las aguas superficiales y subterráneas, del paisaje, la proliferación de animales y de patógenos, entre muchos otros. El concepto de manejo técnico adecuado de los residuos sólidos se entiende como un ciclo que comienza con su generación, luego viene su acumulación temporal, continua con su recolección, transporte y transferencia y termina con la acumulación o disposición final de los mismos en un lugar adecuado.

Como es de público conocimiento, la ciudad de Santiago de Cali no es ajena a esta problemática. De acuerdo a Arango<sup>1</sup>, en Cali se producen aproximadamente entre 1600 y 1800 toneladas diarias de basura que presentan una composición variada en cuanto a sus características, sin embargo, un porcentaje importante de estos residuos (aproximadamente 70%) son residuos de tipo orgánico, los cuales tienen una composición del 80% de agua, que por su contenido de humedad pueden contribuir a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, a la proliferación de vectores epidemiológicos y a la generación olores ofensivos en su proceso de descomposición.

Entre estos residuos de tipo orgánico, se encuentran aquellos resultantes del mantenimiento periódico de las zonas verdes y jardines, incluyendo el pasto cortado y ramas de árboles y arbustos. Esta labor se realiza tres veces al año con una producción aproximada de 23400 m<sup>3</sup> de material vegetal como pasto, hojarasca, broza forestal, ramas, los cuales se disponen en el vertedero controlado de Navarro, que esta al límite de su capacidad<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> ENTREVISTA con Elizabeth Arango, Profesional Externa. Unidad de Educación. Empresa de Servicios Varios (EMSIRVA E.S.P). Santiago de Cali, 25 de Enero de 2008.

<sup>2</sup> FORERO, Ángela Adriana. Aprovechamiento y compostaje de los residuos vegetales producto del mantenimiento de las zonas verdes de Cali. Santiago de Cali, 2007. p. 2. Anteproyecto de grado – Pasantía (Ingeniera Agroforestal). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas - Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC).

Como lo demuestra ampliamente esta problemática actual, es necesario cambiar la concepción existente de disponer los residuos en rellenos sanitarios sin ningún tipo de manejo, como solución suficiente y completa del problema. Se deben buscar más alternativas para el tratamiento integral y aprovechamiento de estos residuos sólidos, especialmente los orgánicos que constituyen la mayor proporción, y entre los cuales se encuentran los residuos de podas. Dichos residuos son una alternativa potencial para solucionar problemas del medio ambiente y a la vez obtener productos con valor agregado que puedan utilizarse en los procesos productivos convencionales.

Como una de las tantas alternativas para el aprovechamiento de estos residuos de poda, se encuentra el compostaje o composting, que consiste básicamente en la descomposición de toda esta materia orgánica por acción de bacterias, hongos y actinomicetes en condiciones aeróbicas y condiciones controladas de humedad, temperatura, aireación, y relación Carbono:Nitrógeno (C:N). Para la implementación de este proceso se requiere en líneas generales; de un espacio físico, de mano de obra, de algunos insumos como fuentes de nitrógeno, microorganismos, agua y una máquina picadora.

Buscando un mayor compromiso con la conservación del medio ambiente, la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”, ha optado por aprovechar sus residuos de podas a partir de la implementación una planta de compostaje, proyecto que se concibe en el Plan de Gestión Ambiental de la Institución y que será desarrollado en el presente trabajo de grado.

## 1. JUSTIFICACIÓN

La generación e inadecuado manejo de los residuos resultantes del mantenimiento de las zonas verdes de espacio público, ha sido un problema por su alto volumen generado, ya que estos se consideran residuos sin ningún valor agregado. Por esto, su disposición final casi siempre se hace en terrenos baldíos, rellenos sanitarios o cualquier otro tipo de zonas, siendo esta práctica, inaceptable y violatoria de la legislación ambiental vigente.

La Escuela Militar de Aviación Marco Fidel Suárez (EMAVI) cuenta con una extensa área verde cuyo mantenimiento produce un gran volumen de restos de podas que son acumulados en sus instalaciones, generando diversos problemas que pueden repercutir adversamente en la salud humana y en el entorno. Uno de estos problemas es, por ejemplo, el impacto directo de estos residuos sobre el paisaje, ya que le confiere un aspecto estéticamente desagradable a la zona.

También, el inadecuado apilamiento de estos residuos, sumado a las frecuentes inundaciones del terreno, favorece la reproducción de vectores como moscas, cucarachas, roedores y mosquitos que pueden transmitir molestias o enfermedades infecciosas a la población; de igual forma se incrementa el riesgo de combustión de los residuos, debido a las altas temperaturas ocasionadas por la libre exposición al sol y a la presencia de materiales inflamables en su interior.

En caso de generarse incendios, que puede comprometer las instalaciones vecinas al sitio de apilamiento actual, las emanaciones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera son una fuente importante de contaminación atmosférica.

Simultáneamente el apilamiento de estos residuos, evita el aprovechamiento de los mismos para otros fines que pueden ser de interés para EMAVI, como por ejemplo su utilización en las labores propias de funcionamiento del vivero institucional.

De igual modo, se observó un manejo poco técnico del proceso de compostaje desarrollado actualmente con los residuos y poco control y supervisión sobre el proceso. En las figuras 4 y 16 (Anexo 3) se muestra el proceso de compostaje encontrado.

Es por esto que se ha propuesto la implementación de un sistema de compostaje técnicamente adecuado que aproveche efectivamente los residuos de poda, que sea económico, sencillo de realizar y que pueda generar beneficios. El principal de estos es la obtención de compost que se usará para el mejoramiento de las propiedades físicas y biológicas de los suelos de la institución.

Por otra parte se reporta que este producto también puede destinarse para mitigar los impactos provocados por el proceso natural de descomposición de la materia orgánica, el mejoramiento y/o la conservación de suelos agrícolas y erosionados, entre otras aplicaciones.

La implementación de este sistema de compostaje en la EMAVI igualmente puede contribuir a apoyar diversos procesos de certificación institucional que se encuentran en marcha, entre ellos la implementación de la norma ISO 14001.

Desde el punto de vista económico, la implementación de un sistema de compostaje también traería grandes ventajas para la institución. Entre estas tenemos la disminución significativa en los costos por compra de tierra abonada y enmiendas para la producción del vivero y contribución a la reducción de costos operativos del mismo.

Por otra parte, a futuro el compost obtenido puede ser comercializado y podría ser una fuente adicional de ingresos para la EMAVI.

## 2. ANTECEDENTES

La problemática planteada ha suscitado el interés de Investigadores, Instituciones, Corporaciones, etc. por seguir la tendencia mundial de utilizar y recuperar este tipo de residuos para la obtención de beneficios económicos, ambientales y productivos que hagan más sostenibles los sistemas productivos actuales.

En el plano internacional, se conocen algunas experiencias especialmente en España, Suramérica y Estados Unidos.

En España se aprovechan los residuos de poda para que no sean dispuestos en el relleno y se puedan utilizar en diferentes fines. Se puede citar en primera instancia la Planta de Compostaje de Migas Calientes del Ayuntamiento de esta ciudad, que maneja hasta 4700 toneladas de residuos vegetales, formados por hojas y material leñoso<sup>3</sup>.

El proceso realizado en esta planta comprende tres fases. La primera de estas consiste en juntar los residuos en grandes montones para mezclar la materia leñosa de las ramas con la materia verde de las hojas en el área de recepción. Una vez que se ha mezclado todo de forma correcta los montones son trasladados al área de trituración, donde una máquina especial los pica de tal modo que se desprenden las fibras, lo cual favorece la fermentación rápida. Luego el material machacado es llevado al área de fermentación para que sea aireado con 5 ventiladores y humedecido, en este estado emana vapor de agua y alcanza una temperatura de hasta 70 °C, lo que indica la fermentación natural.

Esta fase puede durar de 15 a 20 días. Cuando el material ya está fermentado y por ende transformado se procede a una fase más pasiva que consiste no en inyección de aire sino en riego y volteo para que continúe oxigenándose y haciendo más uniforme. En esta fase, los lixiviados generados son reciclados. Se obtiene compost a los cinco o seis meses, para luego ser utilizado en los jardines y parques de Madrid.

---

<sup>3</sup> NARBÓN, Ana. Cien por cien natural: La Planta de Compostaje de Migas Calientes acoge todos los residuos de poda de la capital [en línea]. Madrid: Madridiario, el diario digital de Madrid, 2004. [Consultado 21 de Septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.madridiario.es/mdo/reportajes/reportajesmedioambiente/migascalientes-171204.php>



También en este país se destaca la instalación de otra planta en Villanueva de la Cañada, Madrid, en la cual se ha adoptado la fermentación aerobia para producir compost. En estas instalaciones además de acopiar y triturar los residuos antes de someterlos al proceso, estos son mezclados con lodos de la EDAR para lograr humedades y relaciones C:N que optimicen el proceso. La mezcla es introducida en túneles de fermentación por 14 días en los cuales se controlan los parámetros fisicoquímicos del proceso. Los gases extraídos de los túneles son tratados en un biofiltro antes de ser expulsados al exterior.

Los lixiviados son recogidos y pueden ser recirculados nuevamente al interior de los túneles, para mantener la humedad requerida. El producto fermentado se estabiliza en dos etapas; la primera de ellas consiste en realizar volteos sucesivos durante 5 semanas y la segunda en permitir una maduración estática durante 13 semanas. Posteriormente, el compost estabilizado pasa por la etapa de afino para depurar elementos indeseables y finalmente ser empacado o vendido a granel<sup>4</sup>.

También vale la pena mencionar la experiencia de compostaje en Gipuzkoa, España, utilizando como sustrato los residuos de poda y de jardinería urbanos. Dichos residuos se depositan en una superficie habilitada en los vertederos. Para dicho proceso, que se encuentra dentro del Plan de Gestión de Residuos Urbanos de Gipuzkoa, se mezclan los materiales leñosos y secos (ramas, tallos, troncos, etc.) con los más húmedos, formando pilas de compostaje, cuyo resultado final, se puede poner a disposición de las comunidades de Gipuzkoa para emplearlo como sustrato y enmiendas de suelos en viveros, parques, jardines y zonas verdes en general, evitando el consumo de turba y de otros recursos no renovables. Solo en el año 2001 se comportaron 1500 toneladas de residuos verdes de poda y jardinería urbana<sup>5</sup>.

En la Mancomunidad de San Marcos, ubicada en este país, también se ha fomentado la recuperación de materiales potencialmente reciclables en Depósitos Alternativos de Residuos. En ellos se manejan y recuperan los residuos procedentes de podas y mantenimiento de zonas verdes que posteriormente son triturados en un área específica para su compostaje en la planta de Konpostgune.

---

<sup>4</sup> SAHAGÚN GALLEGOS, José. Planta de Compostaje de Residuos Vegetales (Villanueva de la Cañada, Madrid). En: I CONGRESO DE INGENIERÍA CIVIL, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE (2002. Madrid). Memorias del I congreso de ingeniería civil, territorio y medio ambiente. Madrid, 2005. p. 1.

<sup>5</sup> REKONDO, Julen. Los restos de alimentos de comedores colectivos convertidos en abono [en línea]: Gipuzkoa: Comunidad Autónoma del País Vasco, 2003. [Consultado 10 de Marzo de 2007]. Disponible en Internet: [http://www.euskadi.net/r33-2732/es/contenidos/informacion/3269/es\\_2608/adjuntos/65\\_22\\_23\\_c.pdf](http://www.euskadi.net/r33-2732/es/contenidos/informacion/3269/es_2608/adjuntos/65_22_23_c.pdf)

Durante 2005 han sido compostados 2.025.940 Kg. de residuos de poda y jardinería<sup>6</sup>.

En Buenos Aires Argentina, se realizó un trabajo de compostaje para determinar el efecto de la incorporación al suelo de material orgánico (compuestos por hojas, ramas y césped) obtenido en las diferentes fases del proceso, sobre el crecimiento de pasto Raygrass. Se armaron 4 pilas integradas por el mismo material inicial, se voltearon cada semana a fin de garantizar las condiciones de aerobiosis necesarias y se regaron para mantener constante la humedad en aproximadamente 60% en peso. De las 4 pilas se tomaron muestras compuestas constituidas por 6 submuestras extraídas en forma vertical desde el tope hasta la base de la pila. Se realizaron muestreos en las siguientes etapas del proceso de compostaje: a) material inicial, b) al final de la fase activa, 2 meses, c) al promediar la fase de maduración, 7 meses y d) al finalizar la fase de maduración, 12 meses.

Para estudiar el efecto de la maduración del compost sobre la producción vegetal y su eficiencia como fertilizante nitrogenado se llevó a cabo un ensayo en macetas bajo condiciones controladas, empleando Raygrass (*Lolium perenne* L.) como planta indicadora<sup>7</sup>.

Esta ciudad cuenta con una superficie aproximada de 20.000 ha. de las cuales 1400 son ocupadas por espacios verdes de las que se recolecta una proporción considerable de residuos. Por esta razón se ha propuesto un proyecto de investigación que tiene como objetivo evaluar los cambios producidos en los parámetros físicos, químicos y biológicos que permiten monitorear el proceso de compostaje aerobio de los residuos verdes, optimizar dicho proceso y determinar la calidad del producto final<sup>8</sup>.

Este estudio consiste en clasificar el material acopiado que posteriormente es procesado por una máquina desfibradora. Los residuos son colocados en pilas de 2m de ancho x 2m de largo x 1.5 m de altura sobre un piso de cemento con pendiente, para la recolección de lixiviados y su reincorporación a las pilas.

---

<sup>6</sup> MANCOMUNIDAD DE SAN MARCOS. El tratamiento de los residuos. Gipuzkoa: Mancomunidad de San Marcos, 2006. p. 32.

<sup>7</sup> ARRIGO, et. al. Residuos de poda compostados y sin compostar: uso potencial como enmienda orgánica en suelo. En: Revista Ciencias del Suelo. Vol. 23, No. 1 (Ene. – Jul. 2005).

<sup>8</sup> FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES (FAUBA). El compostaje, una alternativa para el tratamiento de residuos verdes [en línea]. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2006. [Consultado 21 de Septiembre 2006]. Disponible por Internet: <http://www.agro.uba.ar/comunicacion/divulga/archivo/compostaje.htm>

Mensualmente se tomará una muestra compuesta (constituida por ocho submuestras) representativa de cada pila, tamizada por 10 mm. Durante el proceso se tendrá en cuenta la aireación, temperatura, humedad, contenido de sales, relación C/N, pH y la evolución de parámetros microbiológicos. Los datos de las variables estudiadas permitirán establecer diferencias entre los productos provenientes de las distintas pilas y la calidad del producto final.

Estados Unidos de América podría ser el país en donde se encuentra la mayor cantidad de trabajos técnicos sobre los procesos de compostaje. Varias universidades como Cornell University, North Carolina University, Virginia University y Louisiana State University entre otras, tienen departamentos que trabajan sobre el tema y a través de sus servicios de extensión brindan a la comunidad la información y ayuda necesaria para iniciar el proceso.

Adicionalmente organizaciones como la United States Environmental Protection Agency EPA, el U.S. Composting Council y el United States Department of Agriculture USDA, entre otras, trabajan en el tema y brindan información al respecto por diferentes medios. El USDA a través de su Northeast Regional Agricultural Engineering Service NRAES, editó el libro "On-Farm Composting Handbook", publicación relacionada siempre que se requiere información sobre el compostaje en ese país.

En Colombia puede citarse la experiencia realizada por ASOCOLFLORES para enfrentar el manejo del gran volumen de desechos vegetales, que se generan en su actividad productiva, a través del compostaje. Se estima que semanalmente se genera una tonelada de estos desechos por hectárea sembrada. Esta cifra varía según el tipo de flor y la edad del mismo. Para llevar a cabo el proceso se requirió de un espacio físico, mano de obra, fuentes de nitrógeno (urea o estiércol, agua, una maquina picadora, sistemas de transporte de los residuos y el producto final). Para una producción anual de 92 toneladas de compost se utilizaron como insumos 220 m<sup>3</sup> de residuos de poda de rosa por semana, cal, melaza y desinfectante<sup>9</sup>.

Otra experiencia relevante es la de la empresa BioAgrícola del Llano S.A E.S.P, la cual ha destinado infraestructura y recursos para aprovechar por medio de compostaje con inoculación, diferentes residuos: de poda, ruminal, de plazas de

---

<sup>9</sup> CONSEJO EMPRESARIAL COLOMBIANO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE (CECODES). Reutilización y Reciclaje de Residuos Vegetales: el caso de ASOCOLFLORES [en línea]. Bogotá, D.C.: CECODES, 1996. [Consultado 07 de Septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://cecodes.org.co/coeficiencia/1996/asocolflores.htm>

mercado y de cultivos (cascarilla de arroz). Los residuos de podas generados en parques y zonas verdes de la ciudad de Villavicencio son recogidos por móviles de la empresa quienes transportan éstos hasta el área de aprovechamiento de los otros residuos orgánicos. Posteriormente se realiza una clasificación de todo el material a compostar y se procede a formar las pilas, las cuales deben tener la misma composición con el fin de que el producto final tenga iguales características y nutrientes.

Dichas pilas se construyen en forma de pirámide, con dimensiones de 2 m. de ancho x 1.5 m. de altura y con longitud variable de acuerdo a la cantidad de residuos disponibles en el momento del montaje; luego son cubiertas por capas de residuos de poda para evitar la desecación y la incubación de larvas. Se controlan parámetros in-situ como Temperatura, pH y humedad, y luego de 50 días se obtiene compost para el secado, picado, tamizado y empaque<sup>10</sup>.

También se puede citar el caso de la empresa Interaseo de Valledupar, que desarrolló y comercializa un Remediador de Suelos, probado en terrenos desérticos y que cuenta con el Registro del ICA. El producto se obtiene a partir de los residuos de poda, residuos orgánicos e inóculos de bacterias, en una proporción adecuada, en sólo 26 días mientras que de manera natural se obtendría en 90 días<sup>11</sup>.

En Medellín se sometieron igualmente 3.166 toneladas de residuos de poda y tala y 2.1 toneladas de residuos vegetales de pasto cortado (grama). La mayor parte de este material es utilizado como abono para el arbolado urbano o se deposita en sitios para ayudar a la formación de suelo o controlar procesos erosivos<sup>12</sup>.

En Bogotá, se destaca la experiencia del Jardín Botánico José Celestino Mutis, en donde se obtiene compost a partir del material resultante del mantenimiento de las zonas verdes de las instalaciones.

En Cali próximamente se implementará un sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos procedentes del mantenimiento de las zonas verdes de la ciudad, mediante la alianza CVC – Universidad de Nariño. El proyecto

---

<sup>10</sup> BIOAGRÍCOLA DEL LLANO S.A E.S.P. Transformación de residuos [en línea]. Villavicencio: Bioagrícola del Llano S.A. E.S.P, 2005. [Consultado 23 de Diciembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.bioagricoladelllano.com.co>

<sup>11</sup> HERRERA, Leonardo. Con la basura crearon un abono para tierras áridas. En: El Tiempo, Santiago de Cali (09, Dic., 2006); p. 1-16.

<sup>12</sup> Informe Ambiental Empresas Públicas de Medellín (E.S.P.). Medellín, 2006. p. 48.

se establecerá en el Ecoparque Cerro de la Bandera, con unidades experimentales que consistirán en trincheras en guadua con dimensiones de 2 m. de altura x 2 m. de ancho x 3 m. de largo. Mediante el proceso se espera obtener compost en 2 meses.

También en Cali en la Central de Abastos del Valle del Cauca S.A. CAVASA, se realizan procesos de compostaje para la estabilización de todos los residuos orgánicos generados en el proceso de la comercialización de alimentos manejados por esta central. Aquí, se producen aproximadamente de 100 a 120 toneladas mensuales de residuos orgánicos de plaza de mercado, los cuales son mezclados con gallinaza estabilizada para su transformación en compost. Estos son sometidos a un proceso de compostaje de tipo aerobio, en pilas de forma piramidal con dimensiones de 1.5 m. de alto x 10 m. de largo x 10 m. de ancho, algunas de las cuales cuentan con sistemas de ventilación forzada incorporados.

Durante el proceso se realizan monitoreos de Temperatura, pH y humedad, siendo este último parámetro el más controlado (se utiliza el método de estufa 2 veces por semana), debido a la naturaleza demasiado acuosa de los residuos que se compostan. Por esto, para disminuir la cantidad de agua y humedad en los materiales, se les incorpora aserrín de madera a la mezcla para que las pilas queden de una consistencia más seca antes de iniciar el proceso.

El proceso alcanza una eficiencia del 25% en peso y tiene una duración de aproximadamente 80 – 90 días. Anteriormente se hicieron ensayos utilizando EM (Microorganismos Eficientes), sin obtener resultados significativos desde el punto de vista de rendimiento económico en cuanto a la rapidez del proceso, debido a esto, se optó por utilizar como inóculo el compost maduro ya obtenido, lográndose de esta forma una mayor rapidez en el proceso y adicional a esto, evitando problemas como la incidencia de vectores de enfermedades y la generación de olores ofensivos<sup>13</sup>.

Por último, se puede citar la experiencia desarrollada en el Vivero Municipal, en la cual se aprovechaban hojas de samán, cascarilla y carbonilla, adicionando miel de purga. Sin embargo el proceso no fue continuo, y se encuentra detenido a la fecha<sup>14</sup>.

---

<sup>13</sup> ENTREVISTA con Moisés Quintana. Técnico de CAVASA. Santiago de Cali, 07 de Diciembre de 2007.

<sup>14</sup> ENTREVISTA con Jorge Charria. Funcionario de Departamento Administrativo de Medio Ambiente (DAGMA). Santiago de Cali, 25 de Febrero de 2008.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una metodología para el compostaje de los residuos de podas generados por el mantenimiento de las zonas verdes y jardines en la Escuela Militar de Aviación Marco Fidel Suárez (EMAVI).

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar la cualificación y cuantificación inicial de los residuos de poda a compostar.
- Complementar el inventario existente realizado por el DAGMA de especies vegetales en la Escuela Militar de Aviación.
- Realizar una caracterización fisicoquímica y microbiológica del compost obtenido y determinar si cumple con los parámetros establecidos en la NTC 5167 de 2004 del ICONTEC.
- Determinar si la utilización de Microorganismos Eficientes EM influye en la velocidad del proceso de compostaje y en las características fisicoquímicas y microbiológicas del compost obtenido al final del ensayo.
- Diseñar un folleto informativo que ilustre de manera sencilla y práctica el procedimiento más idóneo a ejecutar en la EMAVI de acuerdo a las conclusiones arrojadas por el ensayo.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. RESIDUOS DE PODA

Como residuos de poda o residuos verdes se entienden todos los residuos vegetales tales como pasto cortado, hojas secas y ramas, que se generan como resultado del cultivo y mantenimiento de jardines, parques, espacios públicos (veredas), así como también por la conservación de paisajes<sup>15</sup>.

Estos residuos se caracterizan por tener un contenido hídrico variable y paredes celulares rígidas<sup>16</sup>. Estas están compuestas principalmente por polisacáridos, macromoléculas que consisten en unidades repetitivas de azúcares simples, por o general glucosa<sup>17</sup>. Los 3 tipos de polisacáridos que normalmente aparecen en las paredes celulares vegetales son la celulosa, hemicelulosas y sustancias pécticas<sup>18</sup>.

La celulosa es un carbohidrato estructural, y es la sustancia que más abunda del grupo de carbohidratos, ya que le corresponde 50% o más del total de átomos de carbono en las plantas<sup>19</sup>.

En los últimos estados de desarrollo, las paredes pueden presentar grandes cantidades de lignina, que le da rigidez, y se deposita una vez iniciada la formación de la pared secundaria, a partir de la pared primaria y entre esta y la pared secundaria. En los órganos aéreos las paredes celulares suelen encontrarse recubiertas de ceras, cutina y suberina. Estas últimas sustancias impiden la deshidratación al ser impermeable al agua.

---

<sup>15</sup> MINISTERIO ESTATAL DE BAVIERA PARA EL DESARROLLO PROVINCIAL Y ASUNTOS DEL MEDIO AMBIENTE. De residuos verdes a compost: Manual para el compostaje de residuos vegetales. Baviera: Cooperación Técnica Alemana, 2001. p. 8.

<sup>16</sup> CUERDA QUINTANA, Joseph; PALAUS, Thema. El mundo de las plantas. Atlas botánica. Madrid: Editorial Cultural S.A., 2005. p. 11.

<sup>17</sup> SOLOMON, Eldra Pearl; MARTIN, Diana W.; BERG, Linda R. Biología. 5 ed. México: Mc Graw Hill/Interamericana, 2001. p. 54.

<sup>18</sup> BARCELÓ, et al. Fisiología Vegetal. 2 ed. Madrid: Ediciones Pirámide S.A., 1983. p. 35.

<sup>19</sup> SOLOMON, et. al., Op. cit., p. 53.

## 4.2. PROCESO DE COMPOSTAJE O COMPOSTING

**4.2.1. Reseña histórica.** La técnica del compostaje se ha practicado desde hace miles de años. De forma tradicional, los agricultores han reunido los desperdicios orgánicos para transformarlos en abono para sus tierras. De esta manera se imita el proceso de fermentación que ocurre normalmente en un suelo de un bosque, pero acelerado y dirigido. Los primeros en elaborarlo fueron los chinos a partir de las materias de sus jardines, campos y hogares, incluso a partir de materias fecales.

Posteriormente con los avances en la microbiología fue posible establecer el papel fundamental que desempeñaban los microorganismos como agentes geoquímicos, en los ciclos de transformación de la materia en la biosfera. Estos conocimientos permitieron abordar la práctica tradicional del compostaje con una base científica, estableciendo procedimientos y técnicas que facilitan el control del proceso<sup>20</sup>.

El desarrollo de la técnica de compostaje a gran escala tiene su origen en la India con el método “Indore” desarrollado por el inglés Albert Howard, el cual se basaba en fermentar una mezcla de desechos vegetales y excrementos animales, y humedecerla periódicamente<sup>21</sup>.

En la década de los cincuenta, se comenzaron a hacer los primeros estudios de compostaje con residuos sólidos urbanos. Se realizaron en las Universidades de Michigan y California en EE.UU., obteniéndose al final un producto de buena calidad<sup>22</sup>.

Posteriormente, se propone el manejo de caldos microbiales considerando entonces el suelo como un organismo vivo y se destaca la función de los microorganismos en la fertilidad del mismo.

---

<sup>20</sup> PRAVIA, Miguel A; SZTERN, Daniel. Manual para la elaboración de compost: Bases conceptuales y procedimientos. Montevideo: Oficina de Planeamiento y presupuesto. Unidad de Desarrollo Municipal. Organización Panamericana de la Salud, 1999. p. 17.

<sup>21</sup> ORGANIZACIÓN CORAZÓN VERDE. Historia del compostaje [en línea]. Madrid: Ilustrados.com, 1996. [Consultado 21 de Septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpyZpkZAVVfGthWmvt.php>

<sup>22</sup> MUÑOZ TROCHEZ, José Sélmo. Compostaje en Pescador, Cauca: tecnología apropiada para el manejo de residuos orgánicos y su contribución a problemas medioambientales. Palmira, 2005. p. 9. Trabajo de grado (Ingeniero Ambiental). Universidad Nacional Sede Palmira. Facultad de Ingeniería y Administración.



Avendaño <sup>23</sup> afirma que actualmente el aprovechamiento de residuos orgánicos de distintos orígenes es una práctica habitual en numerosos países. El interés por utilizarlos ha ido aumentando debido a las nuevas tendencias ecológicas y a las elevadas cantidades de éstos materiales que se generan en los procesos agrícolas, agroindustriales y urbanos entre otros. Pero el campo de la investigación en este aspecto no se ha desarrollado mucho; de acuerdo a Mora <sup>24</sup>, el aprovechamiento de residuos orgánicos mediante compostaje y su relación con la calidad del suelo constituye un campo de investigación que en el trópico no está muy bien desarrollado, la literatura especializada se ha desarrollado en países como EE.UU., España, Alemania, Israel, Canadá y Francia, mientras que en países de trópico la información se ha basado en aplicar mezclas de materiales orgánicos “a manera de receta” y no se tienen en cuenta las reacciones bioquímicas que ocurren en el proceso de maduración y estabilización, lo que permitiría controlar la calidad del compostaje y el uso del mismo para el mejoramiento de los suelos.

**4.2.2. El concepto de compostaje.** El concepto o la definición de Compostaje ha sido estudiado por diversos autores a través del tiempo, y al revisarlas se puede decir que todos concuerdan en que el compostaje es básicamente un proceso biológico para descomponer o estabilizar materia orgánica a través o por medio del control de diversas variables.

Por ejemplo, de acuerdo a Mathur<sup>25</sup>, el compostaje es la conversión biológica bajo condiciones controladas, de material de desecho en un producto higiénico, rico en humus y relativamente estable que acondiciona el suelo y nutre las plantas. El producto obtenido se denomina compost que, según Machado y Rueda se caracteriza por ser una mezcla estable, homogénea y que guarda una relación entre sus componentes que le confieran un valor agronómico al contener nutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio y hierro; y oligoelementos necesarios para la vida de las plantas, además una densidad y variedad de microorganismos que pueden ser utilizados para mejorar terrenos<sup>26</sup>.

---

<sup>23</sup> AVENDAÑO ROJAS, Daniella. El proceso de compostaje. Santiago de Chile, 2003. p. 3. Trabajo de grado (Ingeniera Agrónoma). Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal.

<sup>24</sup> MORA DELGADO, Jairo Ricardo. Contribuciones del compost al mejoramiento de la fertilidad del suelo [en línea]. Manizales: Revista Científica Luna Azul versión online, 2002. [Consultado 07 de Septiembre de 2006]. Disponible en Internet [http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=294&Itemid=294](http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=com_content&task=view&id=294&Itemid=294)

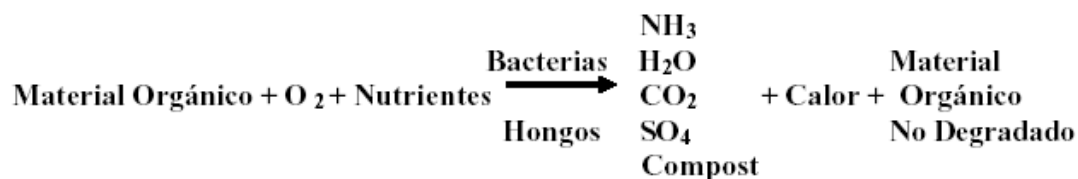
<sup>25</sup> MATHUR, P. Composting Processes. En: Bioconversion of waste materials to industrial products. Essex: A.M. Martin, 1991. Citado por AVENDAÑO, Op. cit., p. 3.

<sup>26</sup> MACHADO MATURANA, Maritza., Rueda MONTENEGRO Ana María. Optimización del Compostaje Aerobio mediante el uso de Inóculos Orgánicos. Santiago de Cali, 2000. p. 6. Trabajo de grado (Ingeniera Sanitaria). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Departamento de Procesos Químicos y Biológicos.

También puede citarse a Labrador<sup>27</sup> quien afirma que este proceso corresponde a una fermentación aeróbica de una mezcla de materiales orgánicos en condiciones específicas de aireación, humedad, temperatura y nutrientes, y con la intervención de bacterias, hongos y numerosos insectos detritívoros.

Todos los autores consultados, describen el proceso como un proceso Aerobio generalmente, en donde los microorganismos encargados de realizar la descomposición de los residuos, necesitan determinadas condiciones de aireación y Oxígeno para realizar su trabajo. Cuando estas condiciones no son las adecuadas, se habla entonces de un proceso desarrollado en condiciones Anaerobias, con otras características muy diferentes a la del compostaje aerobio.

Si el proceso es aerobio, implica la descomposición de los sustratos orgánicos en presencia de oxígeno (aire) a partir del cual se obtiene dióxido de carbono, agua y calor, proceso que se puede describir mediante la siguiente ecuación<sup>28</sup>:



El gráfico muestra que nunca se produce una oxidación completa debido a que una parte del material orgánico se transforma y otra no es biodegradable.

**Técnicas de compostaje aerobio.** El compostaje aerobio ha tenido mayor aplicación dada su mayor flexibilidad, sus altas velocidades de estabilización y su relativa facilidad de operación.

<sup>27</sup> LABRADOR MORENO, J. La materia orgánica en los agrosistemas. 2 ed. Madrid: Ediciones Mundiprensa, 2001. p. 152.

<sup>28</sup> EWEIS, J. B. Principios de biorecuperación: Tratamiento para contaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y fisicoquímicos. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, 1999. Citado por SILVA, Juan Pablo, et al. Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. Santiago de Cali: Escuela de Ingeniería de los Recursos naturales y del Ambiente (EIDENAR), 2004. p. 3.

Las técnicas de compostaje aerobio varían de acuerdo a las condiciones de aireación, al período de volteo y a la calidad requerida en el producto final. Todo sistema de compostaje requiere monitoreo constante de diversos parámetros. La elección de las técnicas principales depende de los objetivos planteados por el productor, el producto que se desea elaborar, de la cantidad de material a procesar y del tipo de sustrato con el que se pretende trabajar, entre otros.

Los sistemas utilizados pueden clasificarse en 2 grandes categorías:

- Sistemas abiertos de fermentación lenta al aire libre en pilas o montones
- Sistemas cerrados de fermentación acelerada en reactores verticales u horizontales.

De estos dos, los sistemas abiertos son los más utilizados; y en estos las pilas de sustratos a compostar pueden estar al aire libre o cubiertas. Entre estas técnicas se encuentran:

- El Apilamiento estático: Es el sistema más antiguo de compostaje, y consiste en formar pilas de reducida altura para que se ventilen de manera natural y por lo tanto ocurren procesos anaeróbicos zonales y por ende se generan malos olores, gases y líquidos. Como resultado se promueve una fermentación deficiente e irregular, no obteniendo un producto de alta calidad. El tiempo de estabilización en este caso es de 4 a 6 meses<sup>29</sup>.
- El Apilamiento con volteo: En esta técnica los volteos se realizan de forma manual o mecánica. Este sistema de compostaje consiste en amontonar el material al aire libre o en galpones de manera triangular o trapezoidal. Las pilas se voltean regularmente, disminuyendo a medida que pasa el tiempo. Se recomienda que durante el primer mes se realice 2 veces a la semana; en el segundo mes, una vez a la semana; el tercer mes cada 15 días y los meses restantes, una vez al mes. Con el volteo lo que se busca es mezclar bien el material, evitar compactación, intercambio gaseoso, creación de nuevas superficies de ataque de microorganismos, control de temperatura, pH y humedad.

---

<sup>29</sup> CORPORACIÓN DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA DE CHILE. Manual de Compostaje. Santiago de Chile: INTEC, 1999. p. 16.

Las pilas trapezoidales aprovechan muy bien el espacio disponible, por lo que son especialmente recomendables para instalaciones en recintos cerrados. Existe sin embargo, el peligro de que las pilas se construyan con una altura superior a 1.8 m. y si además hay intervalos demasiado largos entre cada volteo y la técnica empleada es deficiente es difícil asegurar un buen intercambio de aire al interior de la pila, y por el contrario pueden generarse condiciones anaerobias que produzcan malos olores como el metano.

Otra forma de apilar consiste en intercalar el material a compostar con tierra, aserrín, carbón o cualquier otro material seco que actúe como material absorbente o desecante.

La técnica de pila de volteo, es relativamente fácil de aplicar, dependiendo del volumen a tratar. Las dimensiones y tamaño recomendados de las pilas varían de acuerdo al autor. Pero haciendo un resumen de todos los vistos, podemos decir que las medidas recomendadas para este tipo de pila se pueden encontrar en los siguientes rangos para las 3 dimensiones de las pilas organizadas en hileras:

Alto: entre 1,5 y 1,8 m.

Ancho: entre 2,4 a 3,6 m.

Largo: variable.

Inclinación de Paredes verticales: cercana a los 30°.

- El Apilamiento con ventilación forzada: Esta ultima técnica consiste en colocar el material a compostar en una pila cuya altura se recomienda sea de 2 a 2.5 m. y airearla en forma forzada, sobre una red de tuberías de aireación, para suministrar aire frecuente y de esta forma garantizar el medio aeróbico necesario para la compostación. Se requiere un equipamiento que consiste en un compresor, red de tuberías, válvulas, sistemas de control de aire, temperatura y humedad, lo que implica un costo mayor. Con esta técnica se obtiene compost en aproximadamente 4 a 6 meses<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup> Ibíd., p. 17.

Tabla 1. Clasificación de los sistemas de compostaje en función del proceso fermentativo.

| Clasificación general de los sistemas de compostaje en función del proceso fermentativo |             |                                      |
|---|-------------|--------------------------------------|
| Degradación aerobia   | Al exterior | En talud de fermentación             |
|   |             | En montones sin volteo               |
|   |             | En montones con volteo periódico     |
|   |             | En montones con volteo mecanizado    |
|   | Al interior | En montones con aireación forzada    |
|   |             | En montones con volteo mecanizado    |
|   |             | En celdas móviles                    |
|   |             | En trincheras, con volteo mecanizado |
|   |             | En torres de digestión               |
|   |             | En túneles                           |
|   |             | En digestores                        |
| Degradación anaerobia   |             | Producción de Biogás                 |

Fuente: URIBE LÓPEZ, José Pablo; et al. Plan de negocios para la creación de una planta de procesamiento de residuos sólidos urbanos para la producción de compost: viabilidad para tres ubicaciones en la ciudad de Bogotá y sus alrededores. Bogotá, D.C., 2004. p. 42. Trabajo de Grado (Ingeniero Industrial). Pontificia Universidad Javeriana Sede Bogotá. Facultad de Ingeniería.

**5.2.3. Parámetros involucrados en el proceso.** Los principales factores a tener en cuenta durante el proceso de compostaje son:

**El Tamaño de las partículas.** Es importante reducir el tamaño de los residuos para garantizar una adecuada aireación y una buena superficie de acción de los microorganismos y para acelerar también las reacciones bioquímicas de estos.

Si las partículas son demasiado grandes, presentan poca superficie de contacto para ser atacadas por los microorganismos, ocasionando que el tiempo de descomposición se alargue y que los materiales se transformen parcialmente. Además, pueden presentarse pérdidas de humedad y menor transferencia de oxígeno<sup>31</sup>.

<sup>31</sup> EWEIS, J. B. Citado por SILVA, et. al., Op. cit., 2004. p. 3.

En el caso contrario, se sabe que un exceso de partículas muy pequeñas produce una cementación del material y poca aireación de la pila lo cual produce fácilmente la putrefacción de los materiales utilizados. Materiales con diámetros inferiores a 0.3 cm, se compactan al montar las pilas y disminuye la capacidad de intercambio gaseoso.

Sherman<sup>32</sup> recomienda que el diámetro de las partículas a compostar se encuentre en el rango comprendido entre 0.31 cm. (1/8 pulg.) y 5.0 cm. (2 pulg.). Teniendo en cuenta esta referencia y otras encontradas, se puede sugerir que un buen tamaño de partículas, fácilmente alcanzable en la práctica con maquinaria sencilla, es aquel que se encuentra en el rango comprendido entre 1 cm. y 5.0 cm.

**Contenido de humedad.** El agua es uno de los factores más importantes en el proceso de compostaje, ya que incide en el crecimiento de los microorganismos involucrados, estos requieren agua para sus necesidades fisiológicas. Si su contenido es muy bajo, niveles de 12% y menores, se detiene la actividad microbiológica retrasando considerablemente el proceso; y si es muy alto, niveles de 60%, se presentan condiciones anóxicas, ya que en procesos aeróbicos la humedad esta muy relacionada con los requerimientos de oxígeno. En este caso, el agua desplaza al aire de los espacios o poros libres existentes, causando además lavado de nutrientes, malos olores y descenso de la temperatura.

Por otra parte se reporta que altos niveles de humedad pueden facilitar la desnitrificación. Por lo tanto, el contenido de humedad óptimo del proceso de compostaje deberá estar comprendido siempre entre el 40 y el 60%, en peso.

**La Relación Carbono: Nitrógeno, o Relación C:N.** La relación C:N, expresa las unidades de Carbono por unidades de Nitrógeno que contiene un material. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes favorecerá un buen crecimiento y reproducción de estos microorganismos.

De acuerdo a Pravia y Sztern<sup>33</sup> se considera adecuada una Relación C:N de 20 a 30 para el inicio del proceso, sin embargo consideran una relación C:N óptima de entrada, es decir de material "crudo o fresco" a compostar es de 25 unidades de

---

<sup>32</sup> SHERMAN, Rhonda. Large-Scale Organic Materials Composting. Raleigh: North Carolina Cooperative Extension Service, 1999. p. 4.

<sup>33</sup> PRAVIA, et. al., Op. cit., p. 21.

Carbono por una unidad de Nitrógeno, es decir C (25):N (1) = 25. Por encima de este valor se reporta que se retrasa innecesariamente el proceso<sup>34</sup>. Sin embargo Henao (1996)<sup>35</sup>, afirma que se han efectuado procesos de compostaje exitosos con relaciones de 20 a 80; solo que el proceso, además de ser más lento, es posible que el aprovechamiento de los nutrientes no sea el óptimo, lo que puede llegar a afectar la calidad del producto final.

Si la relación C:N no alcanza un balance óptimo, el sistema microbiano va a sufrir un desarrollo diferente del requerido para obtener la comunidad biológica óptima. Cuando hay poco N la comunidad no crece hasta su punto óptimo, el proceso es lento y no progresa. En contraste cuando el N es muy alto, el desarrollo de la comunidad es muy rápido y se acelera la descomposición, pero esto crea una disminución rápida de O<sub>2</sub> y las condiciones se vuelven anaeróbicas, generando olores desagradables. Una parte de ese exceso de N se convertirá en amoníaco gaseoso perdiendo de esta manera este valioso elemento necesario para el crecimiento de la comunidad. Los materiales con alto contenido en N requieren un manejo más cuidadoso, e incluso requiriendo de aireación forzada adecuada; o una mayor frecuencia de volteo de la pila o bien una mezcla con una fuente de carbono<sup>36</sup>

Sin embargo Henao (1996)<sup>37</sup>, afirma que se han efectuado procesos de compostaje exitosos con relaciones de 20 a 80; solo que el proceso puede ser más lento y es posible que el aprovechamiento de los nutrientes no sea el óptimo, lo que puede llegar a afectar la calidad del producto final.

Puede suceder que el material disponible no presente una relación C:N inicial apropiada para su descomposición. En este caso, se procede a realizar una mezcla con otros materiales para lograr una relación apropiada. Por ejemplo, si la relación C:N inicial resulta ser muy alta, pueden utilizarse aditivos (fuentes de nitrógeno), con el fin de ajustar la relación C:N sin alterar el contenido de

---

<sup>34</sup> CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE ANTIOQUIA (CORANTIOQUIA); Grupo interdisciplinario de Estudios Moleculares (GIEM); Corporación académica para el estudio de patologías tropicales. Manejo y evaluación de la porquinaza mediante proceso de compostación. Cartilla Técnica. Medellín: Universidad de Antioquia, 2003. p. 21.

<sup>35</sup> HENAO, C.H. Manejo técnico de los residuos sólidos urbanos. En: CURSO TALLER ALTERNATIVAS PARA DISMINUIR LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA: ASPECTOS TÉCNICOS Y LEGALES (1996. Palmira). Memorias del curso taller alternativas para disminuir los impactos ambientales en los sistemas de producción agropecuaria: aspectos técnicos y legales. p. 8. Citado por MUÑOZ, Op. cit., p. 15.

<sup>36</sup> O'LEARY, Phillip R; WALSH, Patrick W. Decision Maker's Guide to Solid Waste Management: Chapter 7. Wisconsin: Solid and Hazardous Waste Education Center, University of Wisconsin-Madison/Extension, 1995. p. 12.

<sup>37</sup> HENAO, C.H. Citado por MUÑOZ, Op. cit., p. 15.

humedad. Graves afirma que se pueden utilizar fertilizantes como urea, sulfato de amonio, entre otros<sup>38</sup>. Si se adicionan fuentes que contienen sulfato o calcio, existe el riesgo que aumente la conductividad eléctrica.

A medida que el compostaje avanza, el cociente C:N disminuye gradualmente llegando a alcanzar valores entre 10 y 12 en el producto final “compost”, que resultan apropiados para uso agronómico.

**Temperatura.** Diversos autores señalan que la temperatura es otro factor determinante en el proceso de compostaje, dado que es un indicador de la actividad biológica de los microorganismos, ya que estos actúan mejor dentro de rangos de temperatura específicos<sup>39</sup>. En sus procesos metabólicos liberan calor cuando se encuentran trabajando en la descomposición de los materiales.

La temperatura del proceso también está influenciada por las temperaturas ambientales, y relacionada directamente con el tamaño de la pila (capacidad de aislamiento), el contenido de agua y la relación C:N de los materiales, aquellos con una menor relación C:N alcanzan mayores temperaturas.

El compostaje aeróbico se caracteriza por la sucesión de etapas mesotérmicas (10-40 °C) con etapas termogénicas (40-75 °C), como consecuencia de la relación superficie/volumen de las pilas y de la actividad metabólica de los diferentes grupos fisiológicos participantes en el proceso. Durante la evolución del proceso se produce una sucesión natural de poblaciones de microorganismos que difieren en sus características metabólicas y nutricionales<sup>40</sup>.

En una pila según estos autores se distinguen 2 zonas:

- La zona central o núcleo de compostaje, que es la que está sujeta a los cambios térmicos más evidentes.
- La corteza o zona cortical que es la zona que rodea al núcleo y cuyo espesor dependerá de la compactación y textura de los materiales utilizados.

---

<sup>38</sup> GRAVES, R.E. Composting. En: Part 637. Environmental Engineering. National Engineering Handbook. United States Department of agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS). Chapter 2 (Feb. 2000); p. 8.

<sup>39</sup> CORANTIOQUIA, et. al., Op. cit., p. 23.

<sup>40</sup> PRAVIA, et. al., Op. cit., p. 18.



Otros autores señalan que se necesita mantener en todas las partes de la pila una temperatura de 55 a 60 °C, por lo menos tres días para destruir prácticamente todas las plantas y organismos causantes de enfermedades patógenas. En el compostaje en pilas la temperatura se controla indirectamente variando la frecuencia del volteo, la cual disminuye de 5 a 10 °C regresando posteriormente a su valor anterior.

**El pH.** El pH, al igual que la temperatura, varía con el tiempo durante el proceso de compostaje debido a su acción sobre los microorganismos, por lo que es un parámetro de suma importancia para evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de los residuos. En general, los hongos toleran un margen de pH ligeramente ácido (entre 5-8), debido a que los productos iniciales de la descomposición son ácidos orgánicos. Al cabo de unos días, el pH se vuelve ligeramente alcalino debido a la liberación de amoníaco durante la transformación de las proteínas por parte de las bacterias, las cuales prefieren un medio casi neutro (pH= 6-7,5). El pH recomendado para un sistema de compostaje debe estar en un rango de 6.5 a 8<sup>41</sup>.

El exceso de iones OH<sup>-</sup> provoca la volatilización del amoníaco (NH<sub>3</sub>). El amoníaco se encuentra en equilibrio con el amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) hasta valores cercanos a 9, sin embargo cuando éste es mayor, comienza a aumentar el NH<sub>3</sub><sup>+</sup> y por ende la volatilización. Altos niveles de pH también provocan la formación de precipitados de elementos biológicos esenciales como cobre (Cu) y zinc (Zn). Por otro lado, una excesiva acidez (H<sup>+</sup>) puede causar la liberación de iones bases esenciales, como calcio (Ca) y magnesio (Mg) de los organismos, y metales tóxicos como aluminio (Al), manganeso (Mn) y cobre (Cu) o de la materia orgánica (Mathur, 1991)<sup>42</sup>. También las condiciones muy ácidas disminuyen la actividad de los microorganismos, particularmente para las bacterias.

**La Aireación.** El oxígeno es esencial para el metabolismo y la respiración de los microorganismos aerobios y para oxidar las moléculas orgánicas presentes en los residuos. La aireación, cuando se presenta a niveles óptimos de 5 y 15% de oxígeno, ayuda a mezclar los materiales, evitar su compactación, crear nuevas superficies de ataque para los microorganismos, y permitir al máximo la evacuación del dióxido de carbono producido; también elimina calor al evaporar la humedad.

---

<sup>41</sup> SILVA, et al., Op. cit., p. 12.

<sup>42</sup> MATHUR, P. Composting Processes. En: Bioconversion of waste materials to industrial products. Essex: A.M. Martin, 1991. Citado por AVENDAÑO, Op. cit., p. 19.

Por el contrario, una aireación excesiva (niveles superiores al 15%) desecará los restos, generará pérdidas de calor, una pobre destrucción de organismos patógenos y, según Graves<sup>43</sup> una volatilización del amoníaco; por otro lado una insuficiente aireación (niveles de oxígeno inferiores del 5%) producirá condiciones anaeróbicas, putrefacción, elementos tóxicos, lixiviados, malos olores sustitución de los organismos aerobios por anaerobios, lo que promueve la acumulación de ácidos orgánicos ya que estos en vez de oxígeno utilizan nitratos ( $\text{NO}_3$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) para obtener energía produciendo  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{CH}_4$ , retardando de esta manera el proceso de 4 a 6 meses.

Al mismo tiempo la energía producida durante las condiciones anaeróbicas es menor, resultando en la formación de menos células microbianas por unidad de carbono degradado.

Para evitar y minimizar los problemas potenciales de olores, es importante reducir el tamaño de las partículas, separar plásticos y otros materiales no biodegradables, separar elementos en el origen.

El contenido de humedad y el tamaño medio de partícula y de la pila intervienen de manera importante en los procesos de difusión y convección del aire. Cuando se utilizan materiales que se descomponen muy rápidamente (ricos en N) las pilas deben ser más pequeñas y aumentar la porosidad para permitir la aireación natural<sup>44</sup>. Si la pila es muy grande el aire no alcanza a penetrar de manera eficiente produciendo malos olores debido a los procesos anaeróbicos. Es por eso que en grandes instalaciones o en pilas muy grandes se recomienda hacer aireación forzada<sup>45</sup>.

En resumen, y de acuerdo a lo revisado en diferentes fuentes podemos decir que los parámetros ideales con los que se puede iniciar un proceso de compostaje son los siguientes:

---

<sup>43</sup> Ibíd., p. 19.

<sup>44</sup> VIDAL, Coronel. Jornada Nacional del Reciclado: Temas de compostado [en línea]. Buenos Aires: Asociación Civil Argentina Pro Reciclado del PET, 2000. [Consultado 24 de Septiembre de 2006]. Disponible en Internet: [http://www.arpet.org/en\\_linea/temas.htm](http://www.arpet.org/en_linea/temas.htm)

<sup>45</sup> CORPORACIÓN DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA DE CHILE, Op. cit., p. 28.

Tabla 2. Condiciones ideales para el compostaje

| Condición      | Rango aceptable | Condición óptima |
|----------------|-----------------|------------------|
| Relación C:N   | 20:1 – 40:1     | 25:1 – 30:1      |
| Humedad        | 40 -65%         | 50 – 60%         |
| Oxígeno        | > 5%            | 8%               |
| pH             | 5.5 – 9.0       | 6.5 – 8.0        |
| Temperatura °C | 55 – 75         | 65 – 70          |

**4.2.4. Etapas y duración del proceso de compostaje.** Se presentan diferentes fases durante el proceso de compostaje que van directamente ligadas a los cambios de temperatura presentados al interior de la pila de compost. A pesar de que todos los procesos que se dan en el núcleo, no alcanzan la totalidad del volumen de la corteza, para efectos prácticos se utilizan como criterio las temperaturas que se alcanzan en el núcleo. De esta forma se distinguen las siguientes etapas:

***Etapas de latencia.*** Es la etapa inicial, considerada desde la conformación de la pila hasta que hay incrementos de temperatura, con respecto a la temperatura del material inicial. Esta etapa, es notoria cuando el material ingresa fresco al compostaje. Si el material tiene ya un tiempo de acopio puede pasar inadvertida. La duración de esta etapa es muy variable, dependiendo de numerosos factores. Si son correctos: el balance C:N, el pH y la concentración parcial de Oxígeno, entonces la temperatura ambiente y fundamentalmente la carga de biomasa microbiana que contiene el material, son los dos factores que definen la duración de esta etapa. Con temperatura ambiente entre los 10 y 12 °C, en pilas adecuadamente conformadas, esta etapa puede durar de 24 a 72 hr.

***Etapas Mesotérmica o Mesófila.*** (10-40 °C). En esta etapa, se destacan las fermentaciones facultativas de la microflora mesófila del material de fácil descomposición, en un medio aeróbico, lo que permite elevación de la temperatura y una disminución del pH por la producción de ácidos orgánicos<sup>46</sup>. En esta etapa actúan actinomicetos (aerobios estrictos), de importancia por su capacidad de producir antibióticos. La participación de hongos se da al inicio de esta etapa y al final del proceso, en áreas muy específicas de las pilas de

<sup>46</sup> INFOAGRO. El compostaje [en línea]. Madrid: Infoagro, 2006. [Consultado 19 de Septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>

compostaje<sup>47</sup>. Esta etapa está determinada por la naturaleza del sustrato y, es más rápida, cuando la aireación y la humedad son óptimas<sup>48</sup>.

**Etapa Termogénica o Termófila.** (40-75°C). Esta es la etapa con las temperaturas más altas y la de menor duración. Aparecen microorganismos termófilos que actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. A los 60 °C los hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos.

Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas. Normalmente en esta etapa, se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables. Si la compactación y ventilación son adecuadas, se producen visibles emanaciones de vapor de agua. El CO<sub>2</sub> se produce en volúmenes importantes que se difunden desde el núcleo a la corteza. Este gas, juega un papel fundamental en el control de larvas de insectos.

Conforme el ambiente se hace totalmente anaerobio, los grupos termófilos entran en fase de muerte. Como esta etapa es de gran interés para la higienización del material, es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes.

Como se puede observar la temperatura es el parámetro que regula las fases del compostaje. Si bien hay autores que afirman un rango de temperatura de 40 -75°C para esta fase, hay otros por otra parte que afirman que la temperatura máxima en esta fase, no debe superar los 70°C; y que la configuración geométrica de las pilas es un factor importante que afecta el comportamiento de la temperatura, si esta es inadecuada se pueden alcanzar temperaturas demasiados altas (letales para los microorganismos), siendo reducir las dimensiones para permitir la pérdida de calor y controlar la evolución de la temperatura.

**Etapa de Enfriamiento.** Con el agotamiento de los nutrientes, y la desaparición de los termófilos, comienza el descenso de la temperatura. Cuando la misma se sitúa aproximadamente a temperaturas iguales o inferiores a los 40°C se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos (retomando su actividad

---

<sup>47</sup> PRAVIA, M., Sztern, D., Op. cit., p. 19.

<sup>48</sup> GÓMEZ SCHOUBEN, Carolina. Aprovechamiento del buchón de agua *Eichornia Crassipes* como enmienda orgánica en el Ecoparque Lago de las Garzas. Santiago de Cali, 2005. p. 15. Trabajo de grado (M.s.c. Énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería.

metabólica) que utilizarán como nutrientes los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como la celulosa y lignina restante.

***Etapas de Maduración.*** En esta etapa la temperatura desciende paulatinamente hasta presentarse en valores muy cercanos a la temperatura ambiente. Los organismos termófilos disminuyen su actividad y aparecen los hongos y pequeños insectos, encargados de continuar con el proceso de descomposición de la lignina y la celulosa y la humificación de la materia orgánica<sup>49</sup>. En estos momentos se dice que el material se presenta estable biológicamente y se da por culminado el proceso.

***Duración del Proceso de compostaje.*** En el compostaje de restos de poda el tiempo necesario para obtener un compost maduro es de aproximadamente un año, dependiendo de la metodología utilizada, pero hasta ahora ha sido poco investigada la posibilidad de los usos del producto con adecuada calidad obtenido en un período de tiempo menor<sup>50</sup>.

Otros autores afirman que siempre dependerá de la cantidad de restos vegetales, pero como norma general, desde que se empieza el primer día a depositar restos hasta que se recoge compost por primera vez, pasarán entre 3 y 4 meses.

**4.2.5. Problemas frecuentes y su solución.** Durante el proceso de estabilización de los materiales se pueden presentar algunos problemas de diferente tipo. Los más comunes, sus posibles causas y la forma de corregirlos, se enumeran a continuación.

---

<sup>49</sup> Ibid., p. 16.

<sup>50</sup> ARRIGO, et. al., Op. cit., p. 3.

Tabla 3. Problemas más frecuentes y su solución

| Problema  | Causa  | Solución   |
|---|--|--|
| Malos olores  | Exceso de humedad  | Voltear la pila  |
|   | Pila demasiado grande  | Hacer la pila más pequeña  |
|   | Excesiva compactación  | Voltear  |
|   | Superficie empapada  | Voltear y reducir humedad  |
|   | Partículas muy grandes   | Reducir el tamaño de las partículas,   |
|   | Presencia de plásticos y otros materiales no biodegradables  | Separación en el origen.   |
| Baja temperatura de la pila   | Pila muy pequeña   | Juntar dos pilas   |
|   | Relación C:N incorrecta  | Corregir   |
|   | Humedad insuficiente o exagerada   | Agregar agua en el volteo – evitar demasiado riego.  |
|   | Poco oxígeno o demasiado oxígeno   | Voltear la pila  |
| Disminución repentina de temperatura  | Desecación exagerada de la pila  | Humedecer con agua.  |
|   | Todo el nitrógeno disponible ya ha sido consumido  | Añadir materiales ricos en nitrógeno   |
| Alta temperatura  | Pilas muy grandes  | Reducir el tamaño  |
|   | Alta compactación  | Voltear la pila  |
| Compost adquiere color blanco polvoriento (Desarrollo de hongos muy fuerte) | Material demasiado seco<br>Material no mezclado durante mucho tiempo   | Añadir material rico en nitrógeno.<br>Mezclar los materiales o hacer la pila de nuevo.<br>Humedecer con agua.  |
| Compost adquiere un color negruzco (pudrición del compost)                  | Falta de aire y estructura<br>Relación C:N muy baja<br>Material demasiado húmedo<br>Mezcla insuficiente del material | Preparar el montón de nuevo añadiendo material voluminoso y con una Relación C:N alta<br>Remover el compost más frecuentemente durante el periodo de calentamiento |
| Superficie empapada   | Depresión del tope   | Rellenar el tope   |
|   | Pendiente inadecuada   | Aumentar la pendiente  |
| Vectores (Ratas, Mosquitos)   | Presencia de restos de alimentos   | Eliminar los restos de comida  |
|   | Presencia de agua estancada  | Eliminar el agua y mejorar el drenado  |
| Contaminación de aguas superficiales o subterráneas                         | Descarga de lixiviados   | Tratamiento de lixiviados  |
| Fuego/Combustión espontánea   | Excesiva temperatura   | Hacer pilas más pequeñas   |
|   | Escasa humedad   | Agregar agua   |
|   | Cigarrillos, chispas, etc.   | Eliminar fuentes potenciales de fuego próximas a las pilas.  |

Fuente: ENTREVISTA con Harold Hernández, Ing. Agrónomo de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Santiago de Cali, 03 de Diciembre de 2007.

### 4.3. MICROORGANISMOS ASOCIADOS E INÓCULOS MICROBIALES

Como se mencionó anteriormente, en el proceso de compostaje todo el proceso de degradación de los materiales es realizado por diferentes tipos de microorganismos, los cuales se encuentran de forma natural en todos los materiales utilizados para realizar el compost.

Una vez montadas las pilas y manejando adecuadamente los parámetros anteriormente descritos del proceso, se crea un microhabitat que favorece el desarrollo y crecimiento de todos estos microorganismos que son los que básicamente realizan todo el trabajo.

Entre los principales microorganismos involucrados podemos tener:

**Las Bacterias.** Pueden ser tanto aerobias como facultativas, dependiendo de las condiciones del ambiente el sustrato. Las bacterias en el proceso de compostaje se pueden clasificar de acuerdo al rango de temperatura en el que se desarrollan: mesófilas para temperaturas entre 20 a 40 °C y termófilas de 40 a 75 °C.

Se encargan principalmente de la descomposición de proteínas, lípidos y grasas a temperaturas termofílicas, y de la liberación de calor al iniciar el proceso.

**Los Hongos.** Tienen como función descomponer la materia orgánica compleja y la celulosa, que se caracteriza por ser una de las partes mas resistentes de la materia orgánica. Los hongos se destruyen a temperaturas superiores a 55 °C, aunque algunos permanecen en estado de latencia reactivándose en la etapa de enfriamiento del compost. La mayoría viven en las capas externas del compost cuando la temperatura es alta, creciendo en forma de filamentos, formando colonias blancas o grises de textura aterciopelada en la superficie de la pila<sup>51</sup>.

**Los Actinomicetes.** Son microorganismos clasificados como intermedios entre las bacterias procariotas más primitivas y los hongos eucariotas. Proveen el olor característico a tierra ya que son importantes en la formación de humus.

---

<sup>51</sup> REY LÓPEZ, Miguel Ángel. Organismos que intervienen en el proceso de compostaje [en línea]. Barcelona: Compostadores S.L., 2004. [Consultado 23 de Septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.compostadores.com/v3/castellano/articulos/detalles.asp?ArticulosID=29>

Los actinomicetos pueden resistir condiciones adversas, para su nutrición metabolizan toda clase de materia orgánica (glúcidos, almidones, alcoholes, ácidos orgánicos etc.) generando proteasas, amilasas, lipasas etc. Sus enzimas les permiten romper químicamente residuos ricos en celulosa, lignina, quitina y proteínas. Forman ácidos orgánicos a partir de los glúcidos y amoníaco a partir del nitrógeno orgánico. Comúnmente producen sustancias antibióticas, las cuales pueden actuar sobre otras especies de actinomicetos, bacterias y hongos<sup>52</sup>.

Algunas especies como los *Thermoactinomyces* pueden crecer a temperaturas de 68 °C y nunca inferiores a 45 °C, resistiendo las temperaturas que ocurren en el proceso de compostaje.

Muchos de estos organismos son patógenos por lo cual el diseño de un proceso de compostaje debe tener en cuenta la destrucción de dichos microorganismos, ya que su presencia afecta los cambios normales de temperatura. Estos organismos prefieren temperaturas por debajo de los 42 °C, ya que normalmente viven a la temperatura corporal del hombre y animales, o a la temperatura ambiental de las plantas. Las técnicas para la preparación de compost se les señalan como muy efectivas para el control de microorganismos patógenos y la tasa de mortalidad de estos microorganismos está en función del tiempo y de la temperatura. Cuando el proceso de compostaje funciona correctamente se pone de manifiesto que la mayoría de los organismos patógenos mueren cuando se exponen todas las partes de la pila a temperaturas de 55 °C.

---

<sup>52</sup> Ibíd., Disponible en Internet:  
<http://www.compostadores.com/v3/castellano/articulos/detalles.asp?ArticulosID=29>



Tabla 4. Relación de microorganismos, temperatura y tiempo de exposición necesarios para la destrucción de algunos patógenos y parásitos comunes durante el compostaje.

| Microorganismos   | Observaciones y tiempo de supervivencia   |
|---|---|
| <i>Salmonera SP</i>   | Muerte dentro de una hora a 55 °C y dentro de 15 a 20 minutos a 60 °C           |
| <i>Shigella sp.</i>   | Muerte dentro de una hora a 55 °C   |
| <i>Escherichia coli</i>   | La mayoría muere dentro de 1 hora a 55 °C                                       |
| <i>Streptococcus pyogenes</i>                                       | Muere dentro de 10 minutos a 54 °C  |
| <i>Áscaris lumbricoides</i><br>(huevos)<br>Algunas formas de hongos | Mueren en menos de una hora a temperaturas por encima de 50 °C<br>No sobreviven |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>  | Destruídos a 49°C   |
| <i>Leptospira philadelphia</i>                                      | 2 días  |
| <i>Microbacterium tuberculosis</i>                                  | 14 días   |
| Otros virus que afectan humanos                                     | 7 días  |
| <i>Poliovirus</i>   | 3 a 7 días a 49 °C  |
| <i>Salmonella</i>   | 7 a 21 días   |

Fuente: LUQUE M, O. Alternativas económicas para el manejo de residuos orgánicos en centros de reciclaje. Valencia: Fundación para la investigación agrícola. X Jornada de Conservación Ambiental, 1997. Citado por MUÑOZ, Op. cit., p. 18.

**Inóculos Microbiales.** Algunos residuos pueden presentar poca carga biológica o masa microbiana, por lo cual es necesario utilizar técnicas de bioaumentación. Las más sencillas consisten en utilizar inóculos, que son preparados orgánicos enriquecidos con cepas de microorganismos que se encuentran normalmente en el suelo cuya importancia radica en su gran carga microbial que al ser aplicados al suelo y en este caso, en el compostaje, incrementan la actividad biológica y, por ende, su potencial productivo y en la descomposición de los residuos, respectivamente<sup>53</sup>.

Esta técnica, también conocida como tecnología EM (Microorganismos eficientes), se originó en los años 80 gracias al Dr. Teruo Higa, profesor de horticultura de la Universidad de Okinagua, Japón. Entre los microorganismos es posible encontrar bacterias fototrópicas, bacterias acidolácticas y levaduras<sup>54</sup>.

<sup>53</sup> BLANCO SANDOVAL, José Orlando. Acondicionadores y mejoradores del suelo. Cúcuta: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (Pronatta), 2003. p. 20.

<sup>54</sup> RUEDA PEÑA, Paula Andrea. Compostaje con EM. Factores importantes [en línea]. Bogotá, D.C.: Fundación de Asesorías para el Sector Rural (Fundases), 2003. [Consultado 10 de Noviembre de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.fundases.com/p/pub-compostaje02.html>

Se pueden utilizar varias fuentes de inóculos. Algunas alternativas son utilizar: Inóculos con suelo fértil, inóculos por trasplante e inóculos con caldo de cultivo.

Entre estos últimos, en el país a nivel comercial se pueden encontrar diferentes presentaciones vendidas por diferentes casas o laboratorios comerciales. Para el presente trabajo se utilizó el producto BACTHON SC<sup>®</sup>, comercializado por el laboratorio OREUS localizado en la ciudad de Villavicencio, Meta.

Este es un Bio-fertilizante que contiene microorganismos benéficos del suelo en estado latente que ayudan a transformar materiales orgánicos y minerales, entre los cuales están abonos orgánicos, directamente en el campo y ayudan a eliminar los olores de la descomposición orgánica. Contiene microorganismos como *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Lactobacillus acidophilus*, y *Saccharomyces cerevisiae*.

La utilización de este tipo de tecnología en el proceso de compostaje trae diversas ventajas:

- Permite la transformación aeróbica de compuestos orgánicos, al evitar la descomposición de la materia orgánica por oxidación en la que se liberan gases generadores de olores molestos (sulfurosos, amoniacales y mercaptanos).
- Acelera el proceso de compostaje a una tercera parte del tiempo de un proceso convencional.
- Evita la presencia de moscas y vectores de enfermedades.
- Elimina microorganismos patógenos en el material compostado, por efecto de las altas temperaturas generadas en los núcleos de las pilas, que alcanzan los 70°C<sup>55</sup>.

---

<sup>55</sup> FUNDACIÓN HOGARES JUVENILES CAMPESINOS. Manual de Agricultura Alternativa: Principios. Bogotá, D.C.: Ediciones San Pablo, 2004. p. 12.

#### **4.4. USOS DEL COMPOST**

El compost puede utilizarse de diferentes formas: como abono orgánico o fertilizante; acondicionador de suelos o como enmienda orgánica. La Normatividad Colombiana en materia de abonos orgánicos o productos derivados del compostaje se encuentra representada por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1927 de 2001; NTC 5167 de 2003 y la Resolución 3079 de 1995.

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en la Resolución 3079 de 1995 define enmienda orgánica como “todo material cuya acción fundamental es el mejoramiento de las condiciones químicas del suelo, particularmente el pH”, y como abono orgánico natural un producto que activa procesos microbiales, incrementando la estructura, aireación, y capacidad de retención de humedad del suelo, y aportando pequeñas cantidades de nutrientes.

La NTC 1927 define los conceptos relacionados con fertilizantes y acondicionadores de suelos, fuentes de materias primas y su clasificación. Según esta norma, un acondicionador de suelos es toda sustancia cuya acción fundamental consiste en el mejoramiento de las características físicas, químicas y biológicas del suelo; mientras que un abono o fertilizante es un producto que aplicado al suelo o a las plantas, suministra nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo.

Por último, la NTC 5167 presenta los requisitos que deben cumplir los productos orgánicos utilizados como acondicionadores de suelo o como fertilizantes, los parámetros que deben ser caracterizados y que debe garantizar el producto obtenido. También muestra los requerimientos mínimos en lo relacionado con metales pesados, límites máximos permitidos para macrocontaminantes y niveles máximos de patógenos, incluyendo fitopatógenos específicos que puedan detectarse por el origen de las materias primas.

#### 4.4.1. Características del compost de calidad

**Características químicas.** De acuerdo a López<sup>56</sup>, un compost adecuado se caracteriza por tener un contenido de materia orgánica entre 25-40% sobre peso seco, humedad alrededor de 40%, pH entre 7 y 8, preferiblemente neutro, temperatura estable y similar a la ambiental (máx. 25 °C); una relación C:N entre 12 y 18, nitrógeno orgánico alrededor del 90% del total, el nitrógeno inorgánico principalmente en forma de nitratos y el amoníaco (NH<sub>4</sub>) al final del proceso de no debe ser superior a 0.04%, el contenido mineral puede ser variable N=1.15%, P<1%, K=1%. Los valores de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) pueden estar por encima de 60 meq/100g.

**Características Físicas.** El compost debe estar libre de cuerpos extraños (metales, papeles, plásticos y vidrios), de granulometría fina, textura suave, color café oscuro, consistencia homogénea, con humedad pero sin saturación, y no es posible distinguir la materia orgánica inicialmente compostada.

A continuación se presentan los límites permisibles establecidos por la Norma NTC 5167 del ICONTEC, para algunas características físicas y químicas:

Tabla 5. Requisitos específicos de calidad para abonos orgánicos (NTC 5167).

| Parámetro   | Límites permisibles  |
|---|--|
| Contenido de cenizas  | Máximo 60%   |
| Contenido de humedad (origen vegetal)                             | Máximo 35%   |
| Carbono orgánico oxidable total                                   | Mínimo 15%   |
| N total, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y K <sub>2</sub> O totales | declararlos si cada uno es mayor de 1%   |
| Capacidad de Intercambio Catiónico                                | Mínimo 30 meq/100 g  |
| pH  | mayor de 5   |
| Densidad máxima   | 0,6 g /cc  |
| Límites máximos de metales pesados en mg/Kg (ppm):                | Arsénico (As) 41; Cadmio (Cd) 39; Cromo (Cr) 1200; Mercurio (Hg) 17; Níquel (Ni) 420; Plomo (Pb) 300 |

Fuente: Norma técnica Colombiana NTC 5167. Productos para la industria agrícola. Materiales orgánicos usados como fertilizantes y acondicionadores del suelo. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC). 2003. p. 2.

<sup>56</sup> LÓPEZ, Piedad. Compostaje de residuos orgánicos. Santiago de Cali: Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, 2002. Citado por GÓMEZ, Op. cit., p. 24.

**Características Biológicas.** Debe estar exento de microorganismos patógenos vivos, por el contrario debe poseer microorganismos benéficos que mantendrán y darán vida al suelo cuando el compost sea incorporado.

De acuerdo a la norma técnica colombiana NTC 5167, el compost utilizado como fertilizante y acondicionador orgánico, deberá demostrar que no supera los siguientes niveles máximos de microorganismos patógenos:

Tabla 6. Niveles máximos de microorganismos patógenos en compost obtenido.

| Microorganismo          | Niveles permitidos                      |
|-------------------------|---|
| Salmonella sp           | Ausentes en 25 gramos de producto final |
| Enterobacterias totales | Menos de 100 UFC/g de producto final.   |

Fuente: Fuente: Norma técnica Colombiana NTC 5167. Productos para la industria agrícola. Materiales orgánicos usados como fertilizantes y acondicionadores del suelo. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC). 2003. p. 6.

Para evaluar si el producto presenta contenidos de microorganismos benéficos, debe declararse el recuento de microorganismos mesófilos aerobios, mohos y levaduras. La norma establece además que si alguna de las materias primas es de origen vegetal, el compost deberá estar exento de fitopatógenos de los géneros: *Fusarium* sp., *Botrytis* sp., *Rhizoctonia* sp., *Phytophthora* sp. y de nemátodos fitopatógenos.

**Madurez y calidad.** La madurez del compost se expresa como el estado de degradación, transformación y síntesis microbiana en que se encuentra el material compostado<sup>57</sup>.

La madurez del compost se determina colocando una muestra de compost levemente mojado en una bolsa plástica. El compost maduro emitirá un suave olor a tierra al abrir la bolsa después de una semana de almacenamiento a temperatura de 20 a 30 °C. Un compost inmaduro tendrá una fermentación anaeróbica que producirá un olor séptico<sup>58</sup>.

---

<sup>57</sup> CORPORACIÓN DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA DE CHILE, Op. cit., p. 33.

<sup>58</sup> *Ibíd.*, p. 34.

La madurez del compost no se debe confundir con la calidad del mismo. Madurez significa que los nutrientes se han combinado formando una masa orgánica estable.

La calidad por otro lado refleja madurez pero también refleja el contenido químico del sustrato de compost. La naturaleza intenta terminar un proceso inmaduro de compostaje cuando es posible. Por lo tanto, el grado de madurez del compost afecta la utilidad del mismo como aditivo para el suelo o mezcla para cultivos en maceta. Si se utiliza compost inmaduro, se puede interferir en el crecimiento de la planta mediante toxicidad por amonio e inmovilización del nitrógeno, ó causando deficiencias de oxígeno en el suelo ó la mezcla de sustrato para cultivos<sup>59</sup>.

La madurez del compost se define de acuerdo al uso que se espera del compost. Así, el compost que se usa como medio de cultivo para plantas en maceta debe ser más estable o maduro que el compost destinado a mezclas de suelo. El compost aplicado a los cultivos agrícolas y hortícolas debe ser más estable que el compost para el mejoramiento de suelos.

*Capacidad de intercambio catiónico (CIC).* La capacidad de intercambio catiónico es el parámetro que indica la cantidad de cationes que un suelo puede retener, es decir, cuanto más alta sea la CIC, mayor capacidad de retención tiene<sup>60</sup>. La CIC aumenta a medida que aumenta la materia orgánica y puede reflejar la estabilidad de esta del compost<sup>61</sup>; y si se tiene en cuenta que es una medida de la oxidación de la materia orgánica, su valor debe incrementarse en función del tiempo.

---

<sup>59</sup> Ibíd., p. 34.

<sup>60</sup> INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Tibaitatá: Produmedios Ediciones, 1992. p. 11.

<sup>61</sup> RAMIREZ P, Ramiro; RESTREPO Y, Ronny. Evaluación de la aplicación del abono tipo bocashi en las propiedades físicas de un suelo degradado del municipio de Marinilla, Antioquia. Medellín, 2006. p. 11. Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL EN LA CUÁL SE LLEVÓ A CABO EL PROYECTO

La producción de compost a partir de los desechos orgánicos de poda se llevó a cabo en la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”, localizada en la Calle 8ª con Cra. 52 Barrio La Base en el Municipio de Santiago de Cali, Valle de Cauca, Colombia.

La Escuela Militar de Aviación “EMAVI” comprende solamente una zona de vida, que corresponde a bosque seco tropical (bs-T).

El área de estudio se encuentra en el valle geográfico del río Cauca y presenta una topografía plana, vegetación típica de arborización urbana, con especies frutales endémicas del Valle del Cauca introducida al área donde se construyeron las instalaciones de la Base Aérea, sembradas en las zonas verdes<sup>62</sup>.

**Temperatura.** La temperatura promedio mensual multi-anual es estable alrededor de los 25.2°C (Estación Base Aérea), dependiendo de la temporada y la incidencia de los vientos. El valor promedio de los máximos mensuales multianuales es de 27.4°C y el valor promedio de los Mínimos mensuales multianuales es de 21.5°C.

**Precipitación.** La precipitación promedia total mensual multianual en la estación Base Aérea es de 980.2 mm. Su distribución temporal multianual está asociada con el movimiento elíptico de traslación de la tierra alrededor del sol y con los desplazamientos de la Zona de Confluencia Intertropical, presentando una distribución bi-modal con dos periodos lluviosos intercalados con dos secos.

Se presentan dos temporadas secas y dos temporadas húmedas. La primera temporada seca comprende los meses de Junio, Julio y Agosto y la segunda entre

---

<sup>62</sup> RIOS RODRIGUEZ, Diego Raúl; VELÁSQUEZ BONIVENTO, Manuel. Diseño de un proyecto piloto de fabricación de compost a partir del aprovechamiento de los residuos orgánicos en la Escuela Militar De Aviación “Marco Fidel Suárez”. Santiago de Cali, 2006. p. 21. Trabajo de Grado (Administradores Aeronáuticos). Escuela Militar De Aviación “MARCO Fidel Suárez”.

Diciembre y Febrero. Las temporadas de lluvia se presentan en los meses de Marzo, Abril y Mayo; y en Octubre y Noviembre.

**Humedad Relativa.** La Humedad Relativa promedio mensual multianual de acuerdo a la estación Base Aérea es de 71%, con un máximo de 86% y un mínimo de 59%.

**Suelos.** Los suelos del área en estudio pertenecen a las unidades de suelos correspondientes a la llanura de inundación del río Cauca.

**Uso actual del suelo.** El uso actual del suelo más representativo corresponde a cobertura de pastos mejorados y/o vegetación ornamental con el 67.3%. La vegetación ornamental incluye especies arbóreas y arbustivas (tabla 9), algunas de las cuales se emplean para la elaboración del compost:

El segundo uso del suelo más representativo corresponde a la construcción de edificios y viviendas que abarca el 20.7% del total del suelo; adicionalmente se hace uso de suelo para las actividades aeronáuticas por lo cual se tiene una pista aérea que ocupa una extensión de 6.28 ha. que corresponden al 5% del terreno; también se encuentra el uso de suelo para vías y accesos a construcciones con un área correspondiente al 4.7% del total. A continuación se presenta una tabla que describe el uso del suelo en la EMAVI.

Tabla 7. Distribución por área y porcentaje, de la cobertura y uso del suelo en la Escuela Militar de Aviación “MARCO FIDEL SUAREZ”.

| Tipo de cobertura o uso   | Área<br>(hectáreas) | Porcentaje<br>(%) |
|---|---------------------|-------------------|
| Construcción de edificios y viviendas   | 25.7                | 20.7              |
| Terreno destinado a vías y accesos a construcciones                                   | 5.8                 | 4.7               |
| Terreno destinado para pista aérea  | 6.28                | 5.0               |
| Terreno con cobertura de Pastos mejorados y/o vegetación ornamental (incluye árboles) | 83.6                | 67.3              |
| Terreno destinado a jarillón  | 1.7                 | 1.38              |
| Otros   | 159.0               |                   |
| <b>TOTAL</b>  | <b>123.177</b>      | <b>100</b>        |

Fuente: ANALISIS AMBIENTAL LTDA; ESCUELA MILITAR DE AVIACION. Plan de Manejo ambiental. Santiago de Cali: Escuela Militar de Aviación, 2004. p. 35.



## 5.2. CUANTIFICACIÓN Y CUALIFICACIÓN DEL MATERIAL A COMPOSTAR

Para la cuantificación del material resultante del mantenimiento de las zonas verdes y jardines se pensó inicialmente en utilizar cualquiera de los dos métodos siguientes:

1º. Método del Aforo o

2º. Método del Pesaje Directo de los residuos.

Para utilizar el método del Aforo se debe partir del dato exacto del área de zona verde sembrada en pastos. Consiste en realizar un aforo o medición al azar del pasto cortado generado en  $1\text{m}^2$  de zona verde. Se realizan varias lecturas, se promedian y se obtiene así el dato de cuantos kilos de pasto cortado genera  $1\text{m}^2$  de zona verde.

Luego con el dato de cuantos metros cuadrados de zona verde se tienen en la EMAVI, se calcula cuantos kilos de pasto cortado puede generar estas zonas verdes.

El método del pesaje directo es un tanto más dispendioso. Consiste en elaborar un registro con las cantidades de residuos generados diariamente durante las actividades normales de mantenimiento y poda de zonas verdes. Este registro se realizaría por espacio de un mes para obtener un dato mensual de estas cantidades.

Para la realización de este método se debe contar con la colaboración del interventor encargado de las labores de mantenimiento y poda de las zonas verdes.

Pero cuando se trató de implementar el Método del Aforo, se presentaron algunos inconvenientes técnicos que impidieron ponerlo en marcha y que dejó como única elección la utilización del Método del Pesaje Directo.

El dato de las hectáreas ocupadas por las zonas verdes y jardines que figuran en el inventario de Uso Actual del Suelo (tabla 7), en la actualidad ha disminuido debido a la construcción de nuevas edificaciones y obras civiles. El dato del área

ocupada por estas nuevas obras es un dato confidencial de la Base Aérea y no se puede tener acceso a él.

Además de esto, otro factor por el que se descarto el método del aforo es debido a su poca exactitud y precisión. Con la técnica utilizada por el interventor encargado de las labores de poda y mantenimiento, que en una misma labor corta pasto y realiza la poda de árboles y arbustos, fue imposible conocer la cantidad de estos últimos exclusivamente. El método del aforo solo nos arroja la cantidad de pasto cortado, mas no la cantidad de material resultante de la poda de árboles y arbustos, de aquí su poca precisión.

Con respecto a la cualificación del material a compostar, se tomaron muestras de dichos residuos y se enviaron al laboratorio para la determinación de la relación C:N. Posteriormente se describe el procedimiento utilizado para la toma de estas muestras.

Para la caracterización fisicoquímica de este material se utilizó el laboratorio Industrial de la Universidad del Valle. Se determinó el Carbono por el método Walkley & Black y el Nitrógeno por el método de Kjeldahl.

### **5.3. ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE ESPECIES**

Para la actualización de las especies existentes en la EMAVI se utilizó como base el listado de especies realizado por el DAGMA y la empresa Ingenieros Consultores en el año 2004. Luego se realizó una verificación en campo de las especies allí mencionadas para comprobar si faltaba o sobraba alguna especie en dicho listado. Posteriormente también se corrigieron algunos nombres científicos y la clasificación taxonómica de algunas especies que así lo requerían.

### **5.4. MONTAJE DEL ENSAYO**

El ensayo fue realizado en el período comprendido entre los meses de abril y octubre de 2007.

**5.4.1. Preparación del material.** Se realizó una selección meticulosa de los residuos a compostar eliminando material muy lignificado y residuos no biodegradables, de modo que la pila quedara conformada de la manera más homogénea posible ya que de esta forma se facilita la degradación de los mismos y el control de la humedad y el volumen.

**5.4.2 Diseño experimental.** Para el análisis estadístico de este estudio, se trabajó con un diseño completamente aleatorio (DCA), donde las unidades experimentales son asignadas aleatoriamente a grupos o niveles de un factor.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

$i = 1, 2, \dots, t$  (tratamientos)  
 $j = 1, 2, \dots, n$  (réplicas)

donde:

$Y_{ij}$  : es la variable de respuesta tomada bajo el i-ésimo nivel del factor, en la j-ésima réplica (variable dependiente)

$\mu$  : es el efecto promedio global.

$\alpha_i$  : es el efecto del tratamiento i-ésimo (variable independiente)

$\varepsilon_{ij}$  : es un componente del error aleatorio (lo que no puedo controlar)

Se puede considerar este método por los siguientes factores:

- Es el diseño más simple, y se usa cuando las unidades experimentales son homogéneas.
- Se puede comparar con cualquier número de tratamientos.
- Los tratamientos se aplican a las unidades experimentales al azar.
- Proporciona más grado de libertad para la estimación del error experimental que cualquier otro diseño para el mismo número de tratamientos y repeticiones.

Se definieron 3 tratamientos diferentes y 1 testigo absoluto para determinar la efectividad de cada uno de ellos, de la siguiente manera:

- Tratamiento 1: Testigo o control absoluto: Residuo de poda únicamente.
- Tratamiento 2: Residuo de poda + inóculo Bacthon<sup>®</sup>.
- Tratamiento 3: Residuo de poda + inóculo Bacthon<sup>®</sup> + úrea para obtener una relación de C:N de 25:1.
- Tratamiento 4: Residuo de poda + inóculo Bacthon<sup>®</sup> + úrea para obtener una relación de C:N de 30:1.

De los 4 tratamientos se realizaron 6 réplicas para cada uno. Este diseño experimental fue seleccionado debido al coeficiente de varianza (CV) arrojado por un ensayo preliminar realizado durante 21 días.

Desde el diseño inicial del ensayo se planteó la premisa de que si a los 150 días de montado el experimento, ninguno de los tratamientos definidos en el diseño experimental presentaba diferencia significativa (en cuanto a su velocidad de descomposición) se adicionaría compost maduro y una nueva dosis de microorganismos (pero no en presentación de tipo comercial) como levadura de cerveza y suero de leche y también melaza, para comprobar el efecto de estos sobre el proceso de compostaje.

En diversas fuentes consultadas sobre el tema de los abonos y enmiendas orgánicas, varios autores hablan acerca de un tipo de abono denominado Bocashi.

Este tipo de abono, cuya definición en español significa Fermentado, no es más que un abono producto de un proceso aeróbico de descomposición bajo condiciones controladas de diferentes tipos de material orgánico (subproductos fácilmente obtenibles en las fincas resultado de sus procesos productivos) a los cuales se les ha adicionado algunos microorganismos facilitados de la descomposición y una fuente de energía.

Como la utilización de este tipo de abonos y enmiendas están enmarcadas siempre dentro de los conceptos de los diferentes tipos de Agriculturas Alternativas o No Convencionales, aunque no estrictamente siempre, los insumos utilizados en la preparación de este tipo de enmiendas siempre deben ser fácilmente obtenibles y económicos para los agricultores.

Por esto, como microorganismo facilitador de la descomposición se utilizan marcas comerciales de la levadura de cerveza granulada, utilizada en la industria panificadora y el suero de leche subproducto de la industria láctea, y como fuente de energía se utiliza la melaza o miel de purga, subproducto de la industria azucarera, utilizada ampliamente en casi todas las explotaciones pecuarias para la alimentación de bovinos, porcinos, etc.

En la preparación del Bocashi, existen diferentes tipos de materiales utilizados y dentro de estos siempre se hace uso de algunos materiales de residuos de poda y materiales ricos en lignina y celulosa provenientes de las socas de cultivos o subproductos de cosecha. Esta fue la razón por la cual se optó por la utilización de estos elementos en el proceso de compostaje del ensayo.

Los elementos utilizados y las dosis son innumerables y se diría que depende de cada autor y de la región en donde se realice el proceso. En lo que si concuerdan todos, es en trabajar con los que se tengan a mano, con insumos internos producidos en la unidad de explotación y en el valor de la experimentación y ensayo del productor, en no seguir las instrucciones de un proceso como una receta de cocina estricta y rígida.

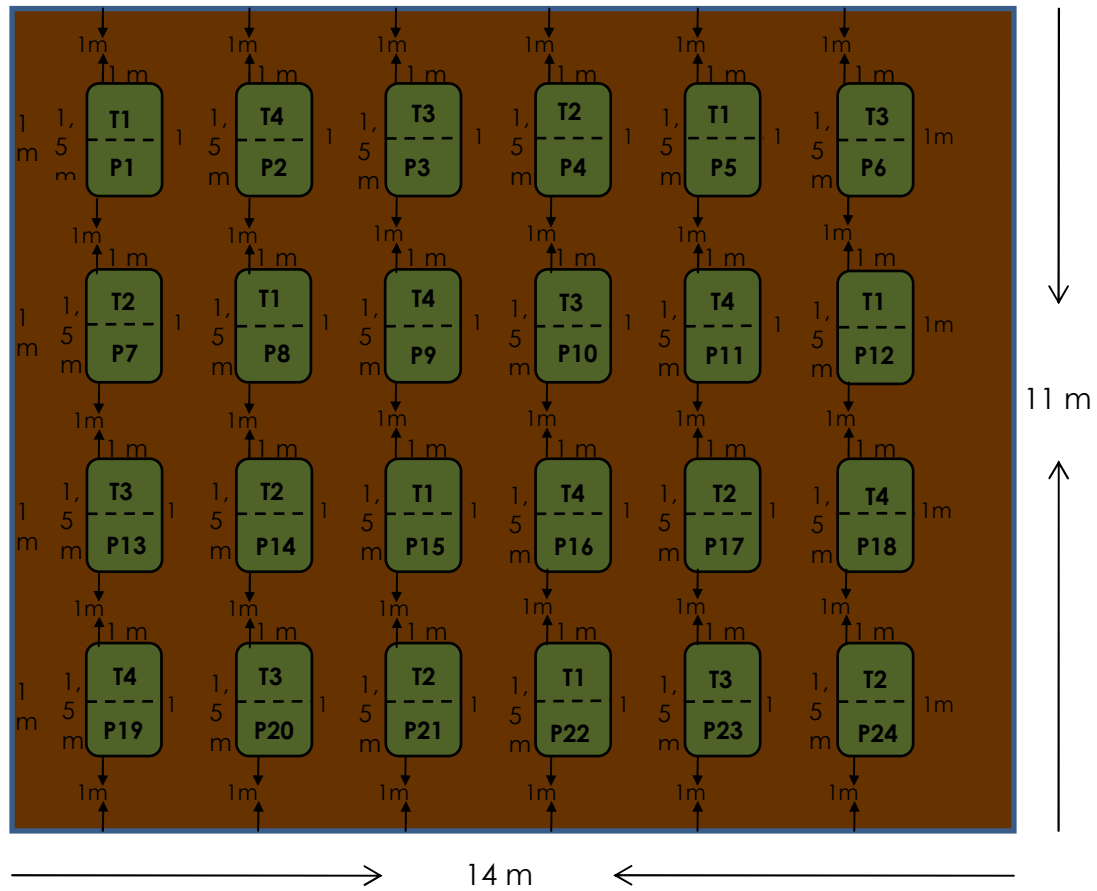
Sin embargo, para el ensayo se decidió tomar como referencia las dosis propuestas por la Fundación Hogares Juveniles Campesinos<sup>63</sup> y adaptarlas o aproximarlas a la cantidad de residuos que se tenía en el ensayo experimental. Según estos, para 2 bultos de residuos se debe adicionar de 1 a 3 litros de melaza, de 100 a 200 gr. de levadura granulada, y 25 litros de agua aproximadamente, a la cuál se le puede agregar 250 gr. de suero de leche o yogurt natural.

Con base en esto se decidió aplicar 50 kilos de compost maduro en el material vegetal en descomposición. Adicionalmente, en un balde con 20 litros de agua se mezclaron 380 gr. de suero de leche, 3 litros de melaza y 250 gr. de levadura hasta disolver; luego se esparció esta mezcla sobre las pilas (ver anexo 2). Estas cantidades de compost maduro, suero de leche, melaza y levadura de cerveza, se utilizaron para tratar 4 pilas de 35 kilos cada una.

---

<sup>63</sup> FUNDACIÓN HOGARES JUVENILES CAMPESINOS, p. 42 - 43.

Figura 1. Montaje de las pilas en el sitio de ensayo.



**5.4.3. Adecuación del terreno y montaje de pila experimentales.** La EMAVI cuenta con un área total de 123.177 hectáreas de las cuales se habilitó un terreno de 0,0347 hectáreas (347 m<sup>2</sup>) para la producción de compost. Este se caracteriza por tener una topografía plana, con muy poca pendiente, lo que lo hace muy susceptible a inundaciones y por consiguiente poco apto para montar adecuadamente las pilas de compostaje.

Figura 2. Modelo y dimensiones de la pila de compost usada en el experimento.

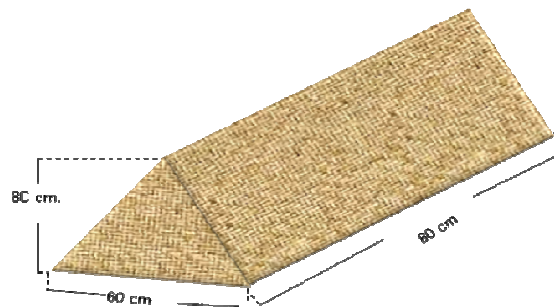
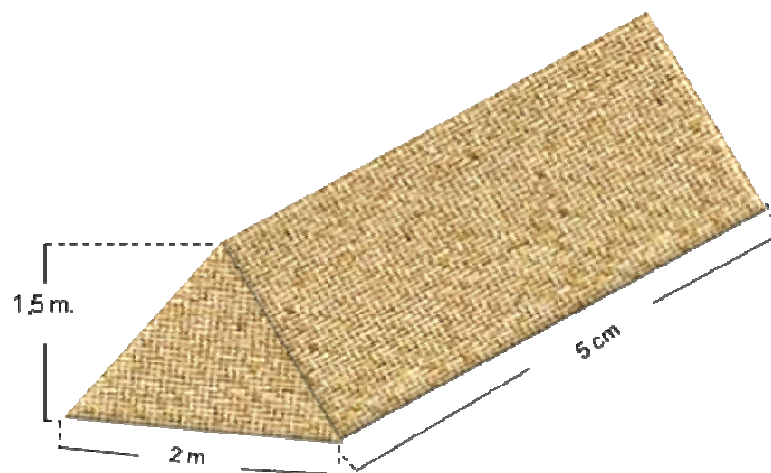


Figura 3. Modelo y dimensiones de la pila de compost recomendadas.



De manera que, teniendo en cuenta las condiciones del terreno anteriormente descritas, la disponibilidad de mano de obra en la zona y de la bibliografía consultada, se optó por utilizar la técnica de apilamiento con volteo o de montones con volteo periódico manual, con una variación que consiste en elevar el terreno con tierra (construyendo un terraplén<sup>64</sup>) alcanzando una pendiente adecuada para evitar saturación de agua en las pilas que pueda proveer condiciones anaeróbicas en el proceso de compostaje.

---

<sup>64</sup> Ver anexo 4 figuras 17 y 18.

Se conformaron pilas o camas en forma trapezoidal, como se muestra en las figuras 1 y 2, espaciándolas adecuadamente (aproximadamente un metro de distancia entre cada pila) para facilitar el control y muestreo de cada una de ellas.

Todas las pilas de residuos se montaron sobre camas elaboradas en plástico de polisombra de calibre 8, y no sobre el suelo directamente. Con estas camas de plástico se garantizaba un control estricto de los lixiviados generados por los materiales, los cuales se recogían y utilizaban para humedecer de nuevo cada una de las pilas.

De igual modo todas las pilas se cubrieron con plástico de polisombra calibre 6, para protegerlas del sol, lluvia y factores ambientales durante todo el proceso de compostaje. Solo se les retiraba la cobertura plástica para las labores de volteo y monitoreo.

**5.4.4. Monitoreo de las unidades experimentales.** Se llevó a cabo de la siguiente forma:

**Toma de muestras.** Se obtuvieron muestras compuestas, integrando 3 sub-muestras de varios puntos de la pila para conformar una sola muestra. Los muestreos se realizaron en tiempo 0 (al inicio del proceso), tiempo 30 (30 días), tiempo 60 (60 días) y tiempo 180 (al final del proceso de compostaje).

Las muestras fueron empacadas en bolsas plásticas “ziploc®” previamente etiquetadas y transportadas al laboratorio para su posterior análisis.

**Parámetros físico-químicos de control.** Con el fin de controlar el proceso de compostaje en sus diferentes fases se evaluaron parámetros físico-químicos tales como: aireación, temperatura, pH, porcentaje de humedad y relación C:N; esto con el fin de garantizar el óptimo desempeño de los microorganismos sobre el sustrato y por ende de la descomposición del mismo.

La aireación se controló por medio de volteos manuales utilizando palas. Estos fueron realizados, por cuestiones de tiempo por parte de la mano de obra 1 vez al día los primeros 8 días; posteriormente, durante las siguientes 2 semanas se realizaron los volteos 3 vez por semana, finalmente se disminuyó la frecuencia realizando el volteo 1 vez por semana durante el tiempo restante.



La temperatura se determinó *in situ* con un termómetro de varilla (precisión 0.1 °C) en tres puntos diferentes de cada pila. Se midió este parámetro diariamente durante los primeros 15 días y posteriormente, 3 veces por semana durante las 2 semanas siguientes, y finalmente 1 vez por semana por el tiempo restante del proceso.

Para determinar la humedad y la materia seca se utilizó el método de estufa, sometiendo 2 g. de muestra a 105°C durante 24 horas, donde se estima que la muestra ha perdido su totalidad de agua estructural

El porcentaje de humedad se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso muestra húmeda} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra húmeda}} * 100$$

Es importante pesar las cápsulas antes de depositar la muestra húmeda e igualmente pesarla llena de muestra húmeda en una balanza electrónica de precisión 0.01g. y restar el valor de la cápsula de aluminio al peso de la muestra húmeda que se dispone en la estufa.

Las mediciones utilizando dicho método se realizaron cada mes, complementando el monitoreo entre cada una de ellas con un procedimiento empírico denominado la “prueba del puño”, que consiste en tomar un puñado de la mezcla de los residuos y comprimirla con la mano y observar: si sale un flujo de agua continuo del material, la pila tiene la humedad adecuada (60 – 70 %), cuando hay exceso, brotará gran cantidad de agua y se hace necesario reducirla permitiendo que la pila reciba aire; si el material gotea intermitentemente se puede decir que el contenido de humedad es cercano al 40%; cuando el material no gotea y cuando se abre la mano permanece moldeado se puede estimar un contenido de humedad de 20 a 30%; y si la mezcla se desmorona al abrir la mano el substrato está muy seco, con una humedad inferior al 20% y por ello es necesario rehumedecerlo<sup>65</sup>.

El pH se evaluó a partir de la técnica del electrodo de vidrio en suspensión cada 15 días al inicio y posteriormente cada mes.

---

<sup>65</sup> LUNA, Luz Alba; VILLAMIZAR, Jaime. Compostaje solarizado. Bogotá, D.C. Centro de investigación “El Arsenal” CORPOICA – COLCIENCIAS, 2004. p. 2.

Adicionalmente, se realizaron mediciones de Cenizas, introduciendo la muestra en una mufla a 550°C por 2 horas. Para obtener la relación C:N se determinó el Carbono a partir de la siguiente fórmula:

$$COT = \frac{100 - \% ceniza}{1.8}$$

El valor obtenido se divide con el hallado de Nitrógeno y así obtener la relación entre estos dos parámetros. Se realizaron 4 mediciones de Nitrógeno a los 0, 30, 60 y al final del proceso (180 días) por cuestiones de presupuesto. El contenido de nitrógeno total fue determinado por el procedimiento macroKjeldahl de la AOAC<sup>66</sup>.

**Parámetros físico-químicos y microbiológicos de respuesta.** Una vez finalizado el proceso de compostaje se procedió a determinar los siguientes parámetros, con la colaboración del Laboratorio Ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC-.

- pH: Se utilizó la técnica del electrodo de vidrio en suspensión, que consiste en introducir el electrodo previamente estandarizado en una mezcla compuesta por 100 g de compost en 200 g de agua destilada.
- Humedad: Se utilizó el método de estufa, anteriormente descrito.
- Materia orgánica: Se analizó por medio del método Walkley & Black.
- Porcentaje de Carbono:  $\% COT = (100 - \% cenizas)/1.8$
- Nitrógeno total: Se obtuvo a partir del método Kjeldahl.
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC): Acetato de amonio I Normal.
- Fósforo total: Bray II
- Nitrógeno amoniacal: Cloruro de Potasio 1M.

---

<sup>66</sup> IÑIGUEZ, Gilberto; PARRA, Javier; VELASCO, Patricia. Utilización de subproductos de la industria tequilera: Parte 8. Evolución de algunos constituyentes de la mezcla de biosólidos-bagazo de agave durante el compostaje. En: Revista Internacional. Contaminación Ambiental. Vol. 22, No. 2 (2006); p. 83-93.

- Microorganismos patógenos: Coliformes fecales y totales. Se analizaron por el método de tubos múltiples (Standard Methods).

**Balance de masas.** Para tener una idea de la eficiencia obtenida en cada uno de los tratamientos de compostaje se realizó un balance de masas, medido en términos de la cantidad de material de compost obtenido más las impurezas con relación a la cantidad de residuos orgánicos al iniciar el proceso.

Para realizar esta medición se tomó el material estabilizado de cada uno de los tratamientos y se tamizó con una zaranda similar a las utilizadas en labores de construcción. Las impurezas obtenidas fueron pesadas cuidadosamente lo mismo que el compost maduro o estabilizado obtenido.

Recursos utilizados. Se requirieron los siguientes elementos:

- 4 palas para el volteo de las pilas.
- 1 Zaranda.
- 12 Pares de guantes de látex.
- Plástico de polisombra calibre 6
- Plástico de polisombra calibre 8
- 750 ml del inóculo Bacthon<sup>®</sup>.
- Urea
- Suero de leche
- Melaza
- Levadura activa de cerveza
- 1 Carretilla.
- 1 báscula
- 1 Termómetro metálico de varilla.
- 1 manguera
- 1 pH-metro.
- 2 computadores
- 3 Laboratorios para realizar los análisis pertinentes (Universidad Autónoma, Univalle y CVC).
- 96 Bolsas “Ziploc<sup>®</sup>” (Recolección de muestras).

## 5.5 PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

Para efectos del presente trabajo se realizó una prueba de hipótesis para aceptar o rechazar afirmaciones con respecto al uso de los Microorganismos Eficientes (EM) en los diversos tratamientos de compostaje. Se trabajó con un nivel de confianza del 95%.

Hipótesis nula ( $H_0$ ): postula que no hay diferencias significativas en el uso de los Microorganismos eficientes (EM). En caso de que se rechace la hipótesis nula y se tienen más de dos tratamientos es necesario realizar un Test de Rangos Múltiples. Hay diferentes métodos disponibles en el Programa Estadístico STATGRAPHICS: LSD (defecto), Tukey, Scheffe, Bonferroni, Newman-Keuls y Duncan<sup>67</sup>.

Hipótesis alterna ( $H_a$ ): el uso de los EM tiene un efecto significativo en la velocidad de descomposición y calidad del compost.

La prueba de hipótesis se realizó por medio de Análisis de Varianza (ANOVA) del programa estadístico Statgraphics, donde se definió como variable dependiente la relación C:N y se midieron las variaciones de esta con respecto al los diferentes tiempos de muestreo (tiempo 0, tiempo 30 y tiempo 60), para cada tratamiento.

No se realizaron muestreos ni análisis de este parámetro para los tiempos 90, 120 y 150 por razones de presupuesto. Sin embargo, en el análisis presentado en la caracterización final se describe la relación C:N del compost obtenido.

---

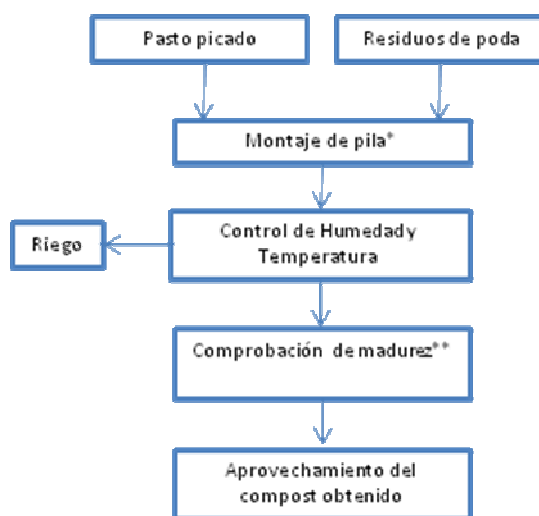
<sup>67</sup> Curso Básico Statgraphics Plus. Versión 5.0 [CD-ROM] Madrid: Servicio Informático de Apoyo a la Docencia e Investigación (SIADI). Universidad Complutense de Madrid, 2000. 1 CD-ROM.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE PROPUESTO PARA LA EMAVI

Esta propuesta surge como respuesta al deficiente manejo al que eran sometidos los residuos de poda en la Institución. Anteriormente, dichos residuos eran acumulados en camas o pilas de grandes dimensiones a los cuales se agregaba estiércol vacuno (escaso valor nutricional por estar expuesto a altas temperaturas y precipitaciones), miel de purga y levadura. Las pilas luego de haber sido establecidas no eran sometidas a monitoreo de temperatura, pH, humedad y aireación para controlar el proceso de compostaje; por otra parte, las pilas se dejaban a la intemperie facilitando la lixiviación de los nutrientes y por ende la pérdida del proceso, como se muestra a continuación.

Figura 4. Flujograma del proceso de compostaje anteriormente realizado en la EMAVI.



\*El montaje de las pilas se realizaba en camas de 4m largo x 2m ancho x 1m alto, se agregaba boñiga, levadura y miel de purga en proporciones no estandarizadas. Adicionalmente, no se tenía en cuenta la cantidad de residuos a compostar ni el manejo de lixiviado y las camas no se encontraban separadas.

\*\*Esta se identificaba empíricamente a través del color, olor y textura, y posteriormente se daba uso.

Con base en esto, lo que se busca con el presente ensayo es determinar y diseñar el tratamiento más adecuado para obtener compost y posteriormente implementar dicha metodología en la EMAVI para aprovechar estos residuos de poda.

Independientemente del tratamiento a seguir, el proceso de compostaje iniciaría con el corte del material vegetal en toda la Base Aérea por medio de un tractor podador durante un mes aproximadamente; transcurrido este periodo se procedería a recolectar los residuos con la ayuda de soldados quienes con carretillas lo transportarían hasta el centro de compostaje donde sería amontonado con cierto estado de descomposición y sequedad por el tiempo que permanecen hasta que fueran recogidos.

Posteriormente los residuos deben ser seleccionados de manera minuciosa destinando aquellos que no sean muy lignificados, tales como ramas muy gruesas y pequeños troncos que son de lenta descomposición; también se descartarían residuos inorgánicos tales como bolsas plásticas, recipientes, envolturas de alimentos, vidrios, entre otros, ya que según Richard y Skelton<sup>68</sup>, para producir un compost seguro y comercializable, el plástico, vidrio, metal, caucho, y lo más importante, residuos peligrosos tienen que ser separados de los residuos biodegradables.

Así que cuando se involucra en el proceso una buena separación y selección inicial, son menores los niveles de metales y contaminantes encontrados en el producto terminado. La combinación de compostaje de residuos de jardín con programas de reciclaje es una excelente forma de asegurar un producto seguro y comercializable.

Luego los residuos a compostar (hojas, pasto cortado, ramas, brotes, restos de poda y algunos frutos) también deben ser triturados y homogeneizados para garantizar que el tamaño de las partículas se encuentre dentro del rango recomendado en este ensayo. De esta forma se garantizan buenas superficies de contacto para los microorganismos y por ende acelera el proceso de descomposición. Para esta labor se debe hacer uso de un picadora de pasto o trituradora de ramas.

---

<sup>68</sup> RICHARD, Thomas L.; SKELTON, Kate. Yard waste composting. Fact sheet 2. New York: Department of Agricultural and Biological Engineering, Cornell University – Cornell waste Management Institute, 1990. p. 3.

En el mercado se encuentran estas máquinas de diferentes marcas, especificaciones y volúmenes de material manejado. Todas se pueden calibrar para obtener unos residuos picados en los tamaños recomendados. Depende del personal encargado en la EMAVI y de los recursos asignados la selección del modelo a comprar.

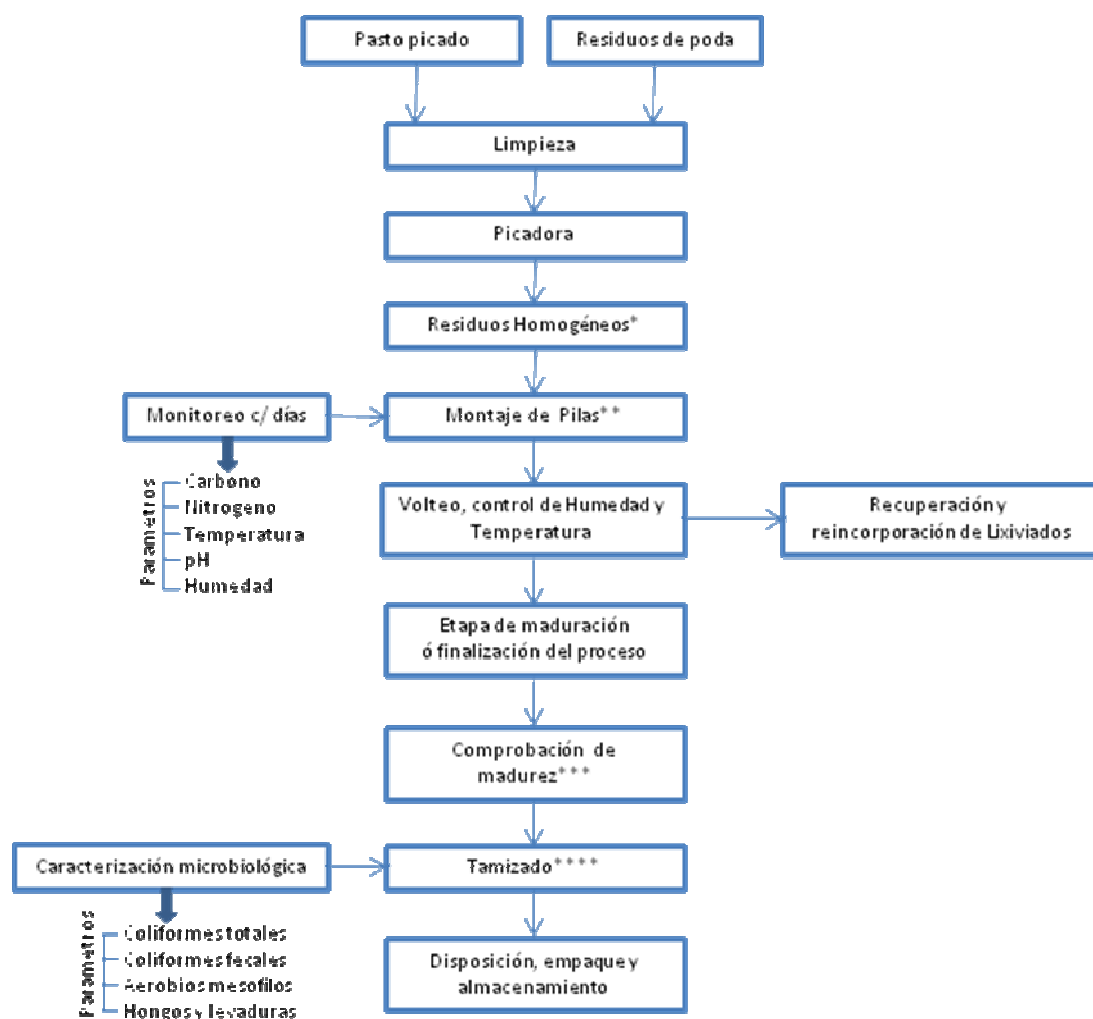
Cuando se tiene seleccionado el material se procedería a realizar la mezcla de los diferentes materiales, dependiendo del tipo de tratamiento, en las proporciones adecuadas, apilándolas en montones en forma piramidal o trapezoidal. Las dimensiones de las pilas pueden ser como las relacionadas en la figura 3. Así como su distribución dentro del espacio destinado para el proceso de compostaje. Es muy importante, que la altura de las pilas sea siempre de 1.5 m. como mínimo. También se recomienda mantener el montaje de las pilas sobre el plástico, tal como se realizó en este ensayo.

Se realizarían volteos, riego y reincorporación de lixiviados, los primeros con el fin de controlar la temperatura y la humedad, y lo segundo para propiciar la actividad microbiológica.

Luego de 16 semanas aproximadamente, el material de las pilas debe ser tamizado con una zaranda para homogeneizarlo y obtener de esta forma el compost para ser utilizado. Por último, se procedería a empacarlo y almacenarlo para destinarlo a los diferentes fines que la Institución considere convenientes teniendo en cuenta las características finales del producto final.

El compost listo y empacado se debe almacenar en un sitio adecuado, protegido de la intemperie y humedad que deterioraría sus características.

Figura 5. Flujograma del proceso de compostaje propuesto para la EMAVI.



\* Se obtendrían al ser sometidos a un proceso de trituración de manera que los residuos alcancen un tamaño ideal de 5cm.

\*\* Para el montaje de las pilas se debe realizar un pesaje del material a compostar y cascarilla de arroz, a partir de lo cual se determinen las dosis adecuadas de levadura, miel de purga, compost maduro y suero costeño, que finalmente permita obtener una relación C:N óptima para el arranque del proceso. Posteriormente se deben las pilas con plástico calibre 6. Cada pila debe tener 2 m de ancho x 5 m de largo x 1,5 m de alto.

\*\*\* Se debe identificar por medio de un procedimiento empírico donde se tenga en cuenta el olor, color, textura y humedad del compost obtenido.

\*\*\*\* El tamizado del compost se debe realizar por medio de una zaranda similar a la utilizada en construcción.

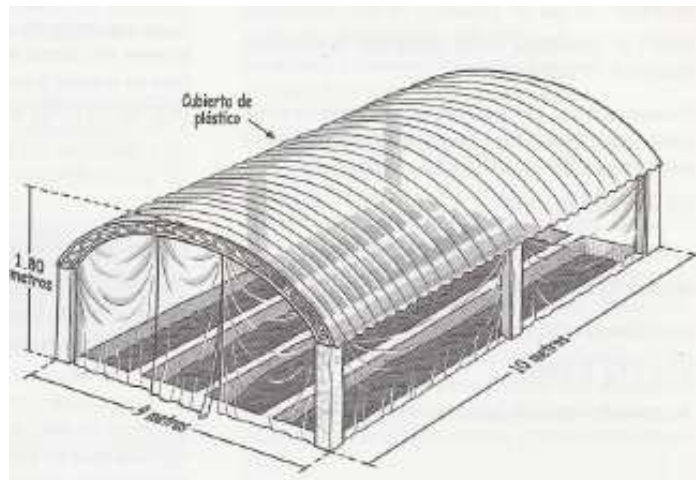


Finalmente, se propone acondicionar el sitio donde se realizó el ensayo, que es donde se tiene diseñado fabricar las instalaciones para este fin. Se sugiere seguir el modelo de instalaciones sugeridas en este trabajo (Ver Anexo 5).

Los materiales recomendados son la guadua y el plástico calibre Invernadero, por ser materiales fáciles de conseguir, resistentes y económicos. La instalación debe quedar cubierta y protegida también por sus lados a modo de pared. El terreno debe ser plano, no presentar inundaciones y sus alrededores así como la entrada debe ser nivelada y no presentar anegaciones.

Como una guía general, se anexa para la consulta, las fotos de la Planta de Compostaje existente en CAVASA (Ver anexo 3, figuras 37 y 38).

Figura 6. Modelo de Compostera protegida por cubierta plástica



Fuente: BONGCAM VASQUEZ, Elkin. Guía para compostaje y manejo de suelos. Bogotá, D.C.: Convenio Andrés Bello, 2003. p. 21.

## 6.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS COMPOSTADOS

**6.2.1 Caracterización Físicoquímica (Relación C:N).** De acuerdo con los análisis de laboratorio efectuados en la Universidad del Valle, los residuos de podas de la EMAVI presentan una relación C:N adecuada para que los microorganismos activen el proceso de compostaje. A continuación se presentan los resultados:

Tabla 8. Relación C:N en los Residuos de Poda de la EMAVI.

| Parámetro            | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Promedio     |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| Carbono orgánico (%) | 29.7      | 22.1      | 30.62     | 27.3         |
| Nitrógeno (%)        | 1.48      | 1.02      | 0.97      | 1.16         |
| Relación C:N         | 20.06     | 21.6      | 31.57     | <b>24.41</b> |

Fuente: Laboratorio de Industriales. Universidad del Valle, 2006.

**6.2.2 Caracterización Cuantitativa.** El método para realizar la caracterización cuantitativa de los residuos de poda en la EMAVI, no pudo llevarse a cabo debido a problemas de logística como el cambio constante de los contratistas encargados del corte de las zonas verdes y su dificultad para ubicarlos cuando se requerían.

**6.2.3. Especies vegetales existentes en la EMAVI.** De acuerdo al inventario de especies vegetales existentes en la EMAVI, se verificó y complementó la información por medio de una inspección minuciosa donde se obtuvo la siguiente tabla.

Tabla 9. Descripción de especies vegetales presentes en la EMAVI.

| PASTOS                                   |                     |   |
|--|---------------------|---|
| Nombre común                             | Familia             | Nombre científico   |
| Bermuda común.                           | Gramineae – Poaceae | <i>Cynodon dactylon</i>   |
| Puntero, Falso jaragua, Cola de caballo. |                     | <i>Hyparrhenia rufa</i>   |
| Guinea.                                  |                     | <i>Panicum maximum</i> Jacq.<br><i>Urochloa maxima</i> (Jacq.) R.D. Webster.  |
| Pata de gallina                          |                     | <i>Eleusine indica</i>  |
| Estrella                                 |                     | <i>Cynodon plectostachyus</i> (K. Shum.) Pilg.<br><i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst.<br><i>Cynodon aethiopicus</i> Clayton & J.R. Harlan |
| Gramma o Bahía                           |                     | <i>Paspalum notatum</i> F.  |

| HERBACEAS                                       |               |  |
|---|---------------|--|
| Nombre común                                    | Familia       | Nombre científico  |
| Suelda con suelda                               | Rosaceae      | <i>Potentilla candicans</i>  |
| Suelda con suelda,<br>Siempreviva, Guardarocío. | Commelinaceae | <i>Tradescantia multiflora.</i><br><i>Tradescantia cummanenesi</i> |

| ÁRBOLES                            |  |   |
|------------------------------------|--|---|
| Familia                            | Nombre científico  | Nombre común                                    |
| Anacardiaceae                      | <i>Mangifera indica L.</i>   | Mango   |
| Annonaceae                         | <i>Cannangium odoratum</i> (Lam) Baill<br><i>Cananga odorata</i>                         | Cadmia, Cananga, Ilang-ilang.                   |
|                                    | <i>Annona muricata</i>   | Guanábano                                       |
| Araliaceae                         | <i>Schefflera actinophylla</i> Endl.   | Schefflera.                                     |
| Arecaceae<br>(Antes<br>Palmaceae). | <i>Cocos nucifera</i>  | Palma de coco                                   |
|                                    | <i>Roystonea regia</i>   | Palma botella o real.                           |
|                                    | <i>Copernicia baileyana</i>  | Palma yarey, palma cubana                       |
|                                    | <i>Mauritiella pacifica</i>  | -   |
|                                    | <i>Livistona chinensis</i> Jacq.   | Palma Abanico                                   |
|                                    | <i>Chrysalidocarpus lutescens</i> H. Wendl.<br><i>Dypsis lutescens</i> H. Wendl          | Palma amarilla.                                 |
|                                    | <i>Syagrus sancona</i> H. Karsten  | Palma zancona, Mapora.                          |
| Bignoniaceae                       | <i>Tabebuia rosea</i>  | Guayacán rosado                                 |
|                                    | <i>Tabebuia chrysantha</i>   | Guayacán amarillo                               |
|                                    | <i>Crescentia cujete</i> L.  | Totumo, Mate, Calabazo.                         |
|                                    | <i>Spathodea campalunata</i>   | Tulipán africano                                |
|                                    | <i>Catalpa longissima</i>  | Crispeta  |
|                                    | <i>Jacaranda caucana</i>   | Gualanday                                       |
| Bombacaceae                        | <i>Ceiba pentandra</i>   | Ceiba, Ceibo, Bonga.                            |
|                                    | <i>Pachira acuatica</i>  | Castañó.  |
| Caesalpinaceae                     | <i>Delonix regia</i>   | Flamboyán                                       |
|                                    | <i>Cassia fistula</i> L.   | Lluvia de oro, Cañafístula                      |
|                                    | <i>Cassia javánica</i> L.  | Casia rosada                                    |
|                                    | <i>Cassia siamea</i> Lam   | Cañafístulo, Rosado,<br>Cañafístula delgada.    |
|                                    | <i>Bauhinia kalbreyeri</i>   | Casco de vaca                                   |
|                                    | <i>Hymenea courbaril</i>   | Algarrobo                                       |
| Combretaceae                       | <i>Terminalia catapa</i> L.  | Almendro, Almendrón,<br>Almendro de las indias. |
| Fabaceae                           | <i>Pithecellobium dulce</i>  | Chiminango.                                     |
|                                    | <i>Senna spectabilis</i><br><i>Cassia spectabilis</i><br><i>Pseudocassia spectabilis</i> | Vainillo.                                       |
| Flacourtiaceae                     | <i>Laetia americana</i>  | Manteco o jabón                                 |

|               |   |  |
|---------------|---|--|
| Mimosaceae.   | <i>Adenanthera pavonina</i>   | Chocho                                 |
|               | <i>Pithecellobium saman</i><br><i>Samanea saman</i>                         | Samán                                  |
|               | <i>Leucaena leucocephala</i>  | Leucaena                               |
|               | <i>Calliandra pittieri</i>  | Carbonero                              |
|               | <i>Inga spectabilis</i>   | Guamo machete.                         |
|               | <i>Inga edulis</i>  | Guamo Santaferño o Raboemico           |
| Moraceae      | <i>Ficus elástica</i>   | Caucho                                 |
|               | <i>Ficus benamina</i>   | Ficus de la india                      |
|               | <i>Ficus insipida</i>   | Higuerón                               |
|               | <i>Artocarpus altilis</i> (S. Park.) Fosb.<br><i>A. integrifolius</i> Auct. | Árbol de pan, Pana.                    |
| Myrtaceae     | <i>Psidium guajaba</i>  | Guayabo                                |
| Oleaceae.     | <i>Fraxinus chinensis</i> Roxb.   | Urapán                                 |
| Polygonaceae  | <i>Coccoloba uvifera</i> (L.) L.<br><i>Polygonum uvifera</i> L.             | Uva de playa, Uva de mar.              |
|               | <i>Prunus domestico</i> L.  | Ciruelo                                |
| Rutaceae      | <i>Citrus reticulata</i><br><i>C. nobilis</i>                               | Mandarino                              |
|               | <i>Citrus aurantifolia</i>  | Limón dulce, Limón Pajarito.           |
|               | <i>Swinglea glutinosa</i>   | Swinglia, Citrange carrizo.            |
| Sapindaceae   | <i>Sapindus saponaria</i>   | Chambimbe, Jaboncillo, Árbol de Jabón. |
|               | <i>Melicoccus bijugatus</i> Jacq.   | Mamoncillo, Mamón.                     |
| Sterculiaceae | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam  | Guásimo                                |

Fuente: ANALISIS AMBIENTAL LTDA; ESCUELA MILITAR DE AVIACION. Plan de Manejo ambiental. Santiago de Cali: Escuela Militar de Aviación, 2004. p. 60. Modificado por Gallego, 2007.

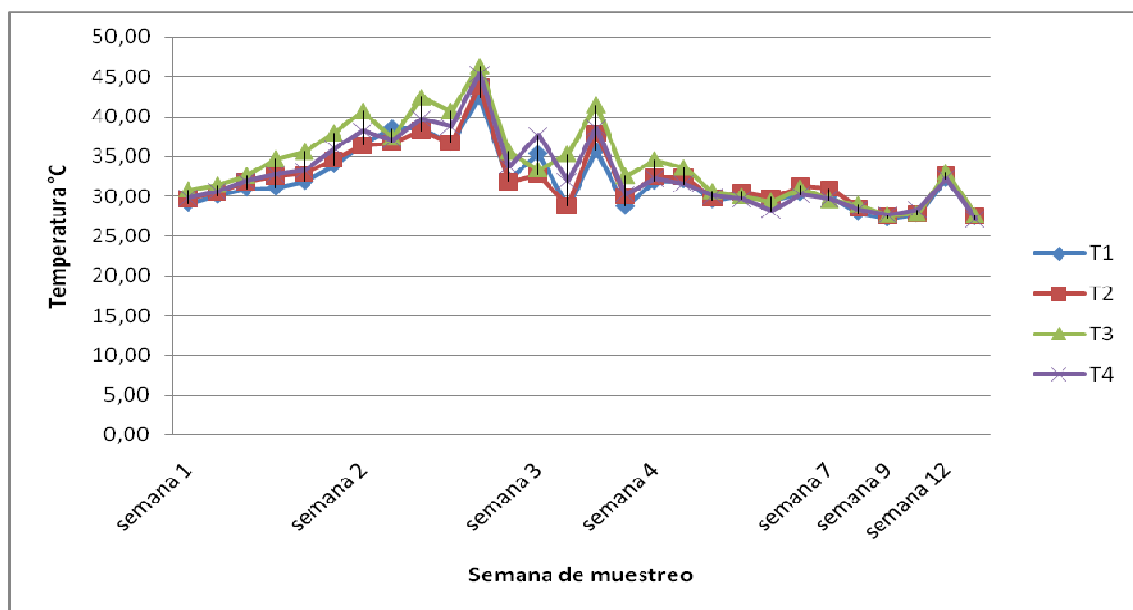
#### 6.2.4. Parámetros físico-químicos de control del proceso de compostaje.

**Temperatura.** En la primera semana del proceso de compostaje, la temperatura para el tratamiento 1 osciló entre 29°C y 34°C, el tratamiento 2 entre 30°C y 35°C, el tratamiento 3 entre 31°C y 38°C, y el tratamiento 4 entre 30°C y 36°C; la temperatura inicial para cada tratamiento se determinó el día en que se montaron las pilas (día 1), y esta fue igual a la temperatura ambiente (29°C - 31°C, a 12:00 m). Ésta semana corresponde a la fase mesotérmica del proceso dado que se registraron temperaturas menores a 40°C.

Posteriormente la temperatura comenzó a aumentar hasta alcanzar valores máximos de 43°C para el tratamiento 1, 44°C para el tratamiento 2, 47°C para el tratamiento 3, y 46°C para el tratamiento 4. Esta semana corresponde a la fase termófila del proceso dado a que las pilas alcanzaron las temperaturas más altas.

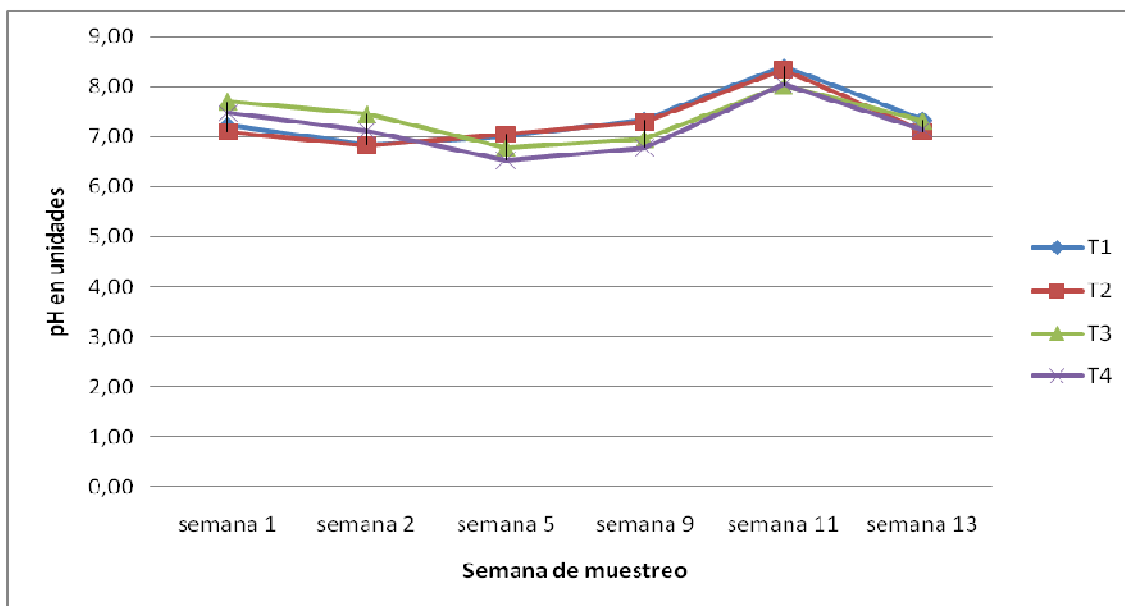
A partir de la semana 3 hasta la semana 5 se presentan fluctuaciones de temperatura, que oscilan entre 28°C y 42°C para posteriormente estabilizarse por debajo de los 35°C en todos los tratamientos hasta la semana 12 en la que se presenta nuevamente un incremento de temperatura. Finalmente se registran temperaturas de 27°C para todos los tratamientos, ligeramente inferiores a la temperatura ambiente, que concuerda con la fase de enfriamiento.

Figura 7. Variación de la temperatura (°C) a lo largo del proceso de compostaje para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4).



**Valor de pH.** Se registraron inicialmente valores básicos de pH de 7,23 para el tratamiento 1; 7,11 para el tratamiento 2; 7,71 para el tratamiento 3 y 7,48 para el tratamiento 4. Posteriormente el pH disminuyó hasta alcanzar valores ligeramente ácidos: 6,85 para el tratamiento 1; 6,83 para el tratamiento 2; 6,7 para el tratamiento 3 y 6,54 para el tratamiento 4. Posteriormente, a partir de la semana 9 se puede observar nuevamente un incremento hasta alcanzar los valores máximos en el proceso en la semana 11: pH para el tratamiento 1 fue equivalente a 8,40; para el tratamiento 2 a 8,34; para el tratamiento 3 a 8,02 y para el tratamiento 4 a 8,05.

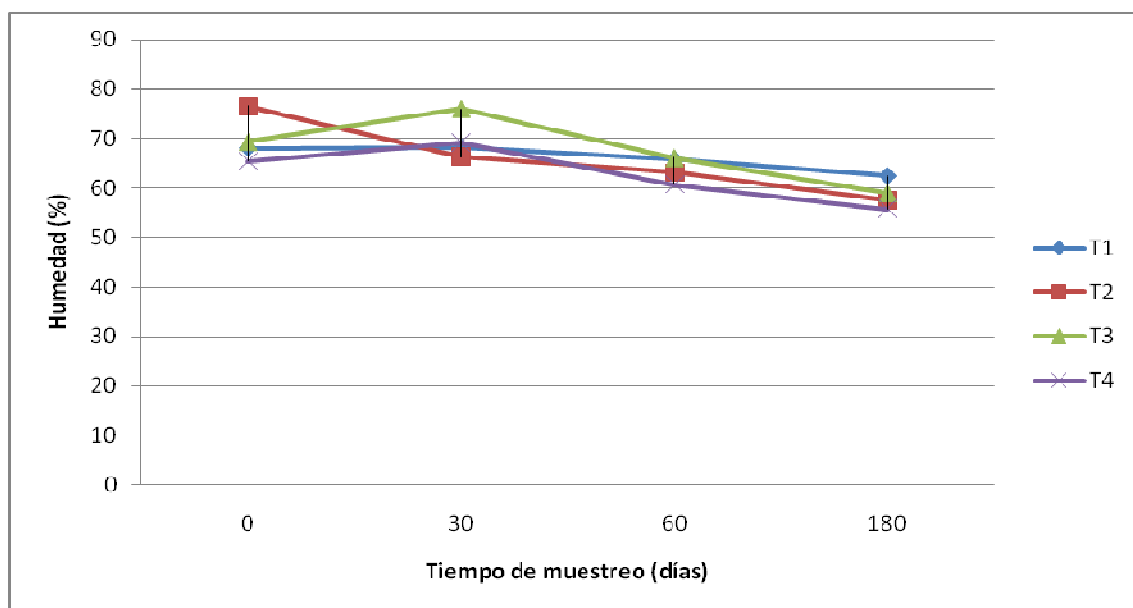
Figura 8. Variación del pH a lo largo del proceso de compostaje para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4).



**Humedad.** El contenido de humedad registrado inicialmente fue de 20%, ya que de acuerdo a Luna<sup>69</sup>, ya que al tomar un puñado del material este se desmoronaba al abrir la mano y no escurría agua por entre los dedos. Posteriormente se alcanzaron valores de humedad inicial para el tratamiento 1 de aproximadamente 68.08% (%MS 31.92 %), para el tratamiento 2 de 76.59% (MS % 23.41), para el tratamiento 3 de 69.29% (MS% 30.71%), y para el tratamiento 4 de 65.40% (MS% 34.6%). A medida que transcurrió el proceso, se pudo observar en términos generales una muy leve disminución en el contenido de humedad, por lo que aumenta el contenido de materia seca. Finalmente a los 180 días el compost registró valores de humedad de 62.44% para el tratamiento 1; 57.48% para el tratamiento 2; 58.94% para el tratamiento 3; 55.73% para el tratamiento 4.

<sup>69</sup> LUNA, et. al., Op. cit., p. 2.

Figura 9. Variación de humedad a lo largo del proceso de compostaje para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4).

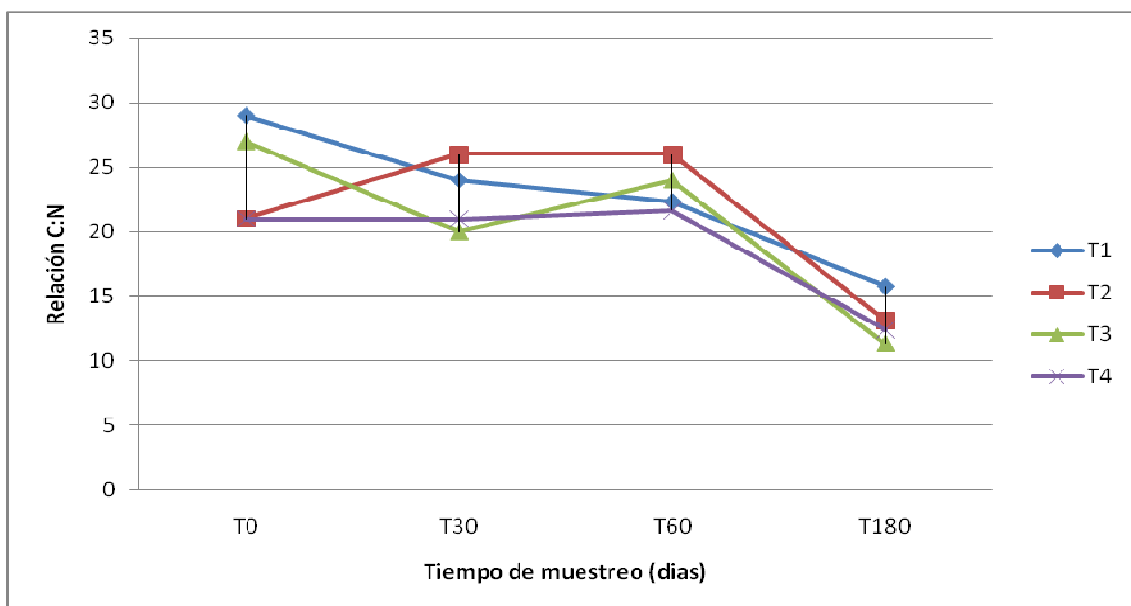


**Relación C:N.** La Relación C:N inicial registrada fue de 29, 21, 27, 21 para los 4 tratamientos respectivamente. A lo largo del proceso se pudo observar un comportamiento diferente en cada uno de los tratamientos, caracterizándose la mayoría de ellos (T2, T3 y T4) por presentar incrementos en el carbono, y por consiguiente en la Relación C:N. El tratamiento 1 por el contrario presentó valores de C:N que disminuyeron a través del tiempo.

Tabla 10. Valores de Relación C:N a lo largo del proceso de compostaje para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4)

|             |    | FECHA          |                 |                 |                  |
|-------------|----|----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| TRATAMIENTO |    | T <sub>0</sub> | T <sub>30</sub> | T <sub>60</sub> | T <sub>180</sub> |
|             | T1 | 29             | 24              | 22,3            | 15,8             |
|             | T2 | 21             | 26              | 26              | 13,1             |
|             | T3 | 27             | 20              | 24              | 11,3             |
|             | T4 | 21             | 21              | 21,7            | 12,4             |
|             |    |                |                 |                 |                  |

Figura 10. Variación de la relación C:N a lo largo del proceso de compostaje para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4).



**6.2.5. Parámetros físico-químicos de respuesta.** El compost obtenido muestra una coloración oscura (negro), olor a tierra húmeda, es de fácil manejabilidad, libre de materiales inertes (vidrio, plástico, partículas grandes), presenta humedad sin saturación (ver anexo 3, figuras 33, 34, 35 y 36).

A continuación se presenta un cuadro resumen por tratamiento de los resultados obtenidos a partir de los análisis realizados en el Laboratorio Ambiental de la CVC. Estos resultados se comparan con los establecidos en la normatividad colombiana vigente correspondiente a abonos orgánicos y según algunos autores de la Organización Mundial de la Salud.

En dicho cuadro se observa que los niveles de pH obtenidos de los 4 tratamientos se encuentran dentro del rango establecido; en cuanto a la humedad se puede decir que presenta una ligera saturación de agua, excede el nivel permisible de 35 a 40%.



Tabla 11. Comparación de parámetros físico-químicos con NTC-5167 y otros autores para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4).

| Parámetro                 |    | Método                          | RESULTADO |         |          |         | NTC 5167                    | OMS Sztern & Pravia et al | Interpretación |
|---------------------------|----|---------------------------------|-----------|---------|----------|---------|-----------------------------|---------------------------|----------------|
|                           |    |                                 | T1        | T2      | T3       | T4      |                             |                           |                |
| pH                        |    | Potenciómetro                   | 6,76      | 6,94    | 7,15     | 6,95    | Mayor a 4 y menor a 9       | 7 - 8                     | Cumple         |
| Humedad %                 |    | Método de estufa                | 8,47      | 8,80    | 8,69     | 7,77    | Máximo 35%                  | Alrededor de 40%          | No cumple      |
|                           |    |                                 | 62,44*    | 57,48*  | 58,94*   | 55,33*  |                             |                           |                |
| C.O. %                    |    | Walkley Black                   | 20,32     | 16,76   | 17,11    | 20,61   | Mínimo 15%                  |                           | Cumple         |
| N Total %                 |    | Kjeldahl                        | 1,29      | 1,28    | 1,51     | 1,66    | Declararlo si es mayor a 1% | 1.15                      | Cumple         |
| C:N                       |    |                                 | 15,75     | 13,09   | 11,33    | 12,42   |                             | 12 - 18                   | Cumple         |
| M.O. %                    |    | Walkley Black                   | 35,03     | 28,89   | 29,51    | 35,53   |                             | 25-45                     | Cumple         |
| P %                       |    | Bray II                         | 0,03      | 0,03    | 0,03     | 0,03    | Declararlo si es mayor a 1% | <1                        | Cumple         |
| Cenizas (%)               |    | Pérdidas por volatilización     | 40,58     | 41,65   | 38,57    | 44,04   | Máximo 60%                  |                           | Cumple         |
| C.I.C. meq/100 g          |    | Acetato de amonio<br>1 N pH 7,0 | 110,16    | 108,76  | 120,47   | 110,29  | Mínimo 30                   | > 60                      | Cumple         |
| Calcio (Ca) %             |    |                                 | 0,70      | 0,78    | 0,80     | 0,73    |                             |                           |                |
| Magnesio (Mg) %           |    |                                 | 0,19      | 0,20    | 0,19     | 0,21    |                             |                           |                |
| Sodio (Na) %              |    |                                 | 0,04      | 0,04    | 0,03     | 0,04    |                             |                           |                |
| Potasio (K) %             |    |                                 | 0,32      | 0,35    | 0,39     | 0,33    | Declararlo si es mayor a 1% | 0.1- 2.3                  | Cumple         |
| Elementos menores (mg/kg) | Fe | Doble ácido                     | < 1,0**   | < 1,0** | < 1,0 ** | <0,10** |                             | 2.1                       | Cumple         |
|                           | Mn |                                 | 5,99      | 3,16    | 2,77     | 4,61    |                             | 490                       | Cumple         |
|                           | Zn |                                 | 0,76      | <0,15** | <0,15**  | 0,24    |                             | 790                       | Cumple         |
|                           | Cu |                                 | 0,12      | <0,10** | <0.10**  | <0,10   |                             | 340                       | Cumple         |

\* Humedad inicial en base húmeda

\*\* Señal mínima detectada por el método como límite de detección.

En dicho cuadro se observa que los niveles de pH obtenidos de los 4 tratamientos se encuentran dentro del rango establecido; por otra parte, se presentan concentraciones de Carbono Orgánico del orden de 17% siendo el requerimiento mínimo de 15%, por lo tanto el compost obtenido cumple con este parámetro a cabalidad.

La Relación Carbono/Nitrógeno se encuentra dentro del rango óptimo establecido por algunos autores, el cual es de 12-18, siendo los obtenidos del orden de 11 -16 por lo cual se considera que el compost también cumple con este parámetro. Así mismo se puede afirmar que el producto final presenta niveles de materia orgánica que se encuentran dentro del rango permisible de 25 - 45%.

El compost obtenido presenta concentraciones inferiores al 1% de fósforo y potasio, cumpliendo así con dichos parámetros. De la misma forma, se puede afirmar que el compost presenta niveles permisibles de cenizas, menores a 60%. Adicionalmente, la capacidad de intercambio catiónico se presenta en concentraciones adecuadas de acuerdo a la normatividad, ya que son significativamente superiores (alrededor de 110 meq/gr) a las reportadas. En cuanto a los elementos menores, estos se encuentran en concentraciones muy bajas, que no le confieren toxicidad al suelo cuando el compost sea aplicado.

Sin embargo, el producto final obtenido presenta un nivel de humedad que excede el establecido por la normatividad el cual es de 35 a 40%, no cumpliendo de esta manera con este parámetro.

**6.2.6 Características microbiológicas del compost obtenido.** A continuación se presentan los resultados obtenidos en cuanto a las características microbiológicas del compost.

Tabla 12. Comparación de parámetros microbiológicos con NTC-5167 para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4).

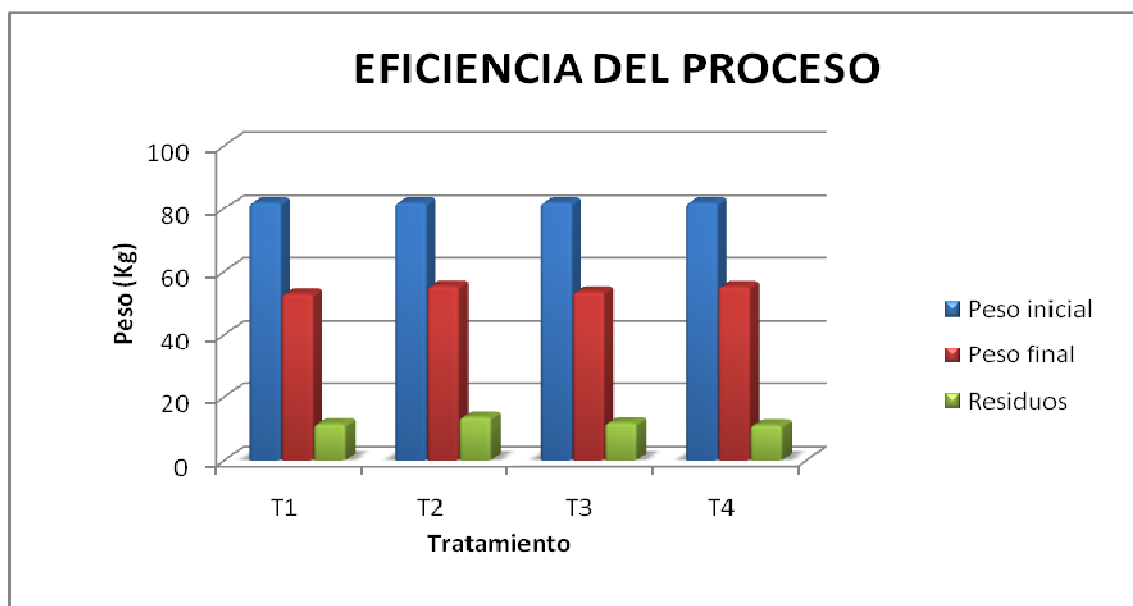
| Parámetro                | Método                           | RESULTADO |          |          |          | Interpretación |
|--------------------------|----------------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------------|
|                          |                                  | T1        | T2       | T3       | T4       |                |
| Coliformes Totales (NMP) | Tubos múltiples Standard Methods | 2,40E+07  | 2,40E+07 | 9,30E+05 | 2,30E+06 | No cumple      |
| Coliformes Fecales (NMP) | Tubos múltiples Standard Methods | 2,40E+07  | 2,30E+06 | 2,30E+05 | 2,30E+06 | No cumple      |

Los resultados arrojados en los análisis de laboratorio se expresan en Número más probable (NMP), dado que se obtuvieron mediante la técnica de tubos múltiples, y no existe factor de conversión que permita expresarlo en Unidades Formadoras de Colonia (UFC). Para llevar a cabo dicha técnica, se utilizaron 10 gr de muestra en 100 ml de agua destilada, que facilita comparar los resultados obtenidos con los presentados en bibliografía consultada, mas no en la NTC 5167.

Sin embargo, se puede observar que los niveles de coliformes fecales y totales en el compost exceden de manera significativa el rango permisible, por lo que no puede ser aplicado aun en el suelo, ya que seria una gran fuente de contaminación.

**6.2.7 Eficiencia del proceso de compostaje (balance de masas).** De acuerdo con los resultados y comparando el peso inicial (Kg) de cada tratamiento y sus respectivas réplicas.

Figura 11. Relación peso inicial – peso final para cada uno de los tratamientos (T1, T2, T3, T4).



La eficiencia del proceso para cada uno de los tratamientos fue de 64.47%, 67.48%, 65.24%, 67.28% respectivamente, y el porcentaje de residuos resultantes del proceso de tamizado para cada uno de los tratamientos fue de 14%, 16.67%, 14.42%, 13.62% respectivamente.

**6.2.8. Análisis de Varianza (ANOVA).** El análisis estadístico determinó que existen diferencias levemente significativas entre cada tratamiento (T1, T2, T3, T4) con respecto a la relación C:N en el tiempo 0 (al inicio) del proceso de compostaje, (prueba ANOVA,  $p < 0,05$ , P-value=0,0207) (figura 12).

Vale la pena mencionar que este tiempo no equivale al inicio del proceso, sino a 10 días después de haber montado las pilas; por lo cuál se supone que la adición de diferentes dosis de urea (en los tratamientos 3 y 4, para alcanzar una relación C:N 25:1 y 30:1 respectivamente) como fuente de nitrógeno permitió un arranque más rápido en los mismos, adquiriendo una ventaja sobre los que debieron arrancar el proceso con una relación C:N más baja (24:1 correspondiente a los T1 y T2).

Adicionalmente, el uso de microorganismos eficientes en los tratamientos 2, 3 y 4 pudo generar una ventaja en la velocidad de descomposición de la materia orgánica con respecto al tratamiento 1, pues en este último las bacterias y hongos tuvieron que colonizar la pila.

Sin embargo, a medida que avanza el tiempo se pierde esta diferencia entre cada tratamiento y la pilas que habían adquirido una ventaja se ven igualadas por el resto, como se muestra en el tiempo 30 (30 días) del proceso de compostaje, donde no se determinan diferencias significativas entre cada tratamiento (T1, T2, T3, T4) con respecto a la relación C:N, (ANOVA,  $p < 0,05$ , P-value=0,0445) (figura 13).

Finalmente, para el tiempo 60 (60 días) del proceso de compostaje no se presenta diferencia alguna entre cada tratamiento (T1, T2, T3, T4) con respecto a la relación C:N, pues el valor aumenta (ANOVA,  $p > 0,05$ , P-value=0,4119) (figura 14). Debido a lo anterior se deduce que es indiferente el uso de los microorganismos eficientes en el proceso de compostaje para este tipo de residuos.

Figura 12. ANOVA para la relación C:N en el tiempo 0 para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4)

| ANOVA Table for RELACIÓN C_N by TRATAMIENTO |                |    |             |         |         |
|---|----------------|----|-------------|---------|---------|
| Analysis of Variance                        |                |    |             |         |         |
| Source                                      | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
| Between groups                              | 88,4286        | 3  | 29,4762     | 17,69   | 0,0207  |
| Within groups                               | 5,0            | 3  | 1,66667     |         |         |
| Total (Corr.)                               | 93,4286        | 6  |             |         |         |

Figura 13. ANOVA para la relación C:N en el tiempo 30 para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4)

| ANOVA Table for RELACIÓN C_N by TRATAMIENTO |                |    |             |         |         |
|---|----------------|----|-------------|---------|---------|
| Analysis of Variance                        |                |    |             |         |         |
| Source                                      | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
| Between groups                              | 62,0           | 3  | 20,6667     | 4,28    | 0,0445  |
| Within groups                               | 38,6667        | 8  | 4,83333     |         |         |
| Total (Corr.)                               | 100,667        | 11 |             |         |         |

Figura 14. ANOVA para la relación C:N en el tiempo 60 para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4)

| ANOVA Table for RELACIÓN C_N by TRATAMIENTO |                |    |             |         |         |
|---|----------------|----|-------------|---------|---------|
| Analysis of Variance                        |                |    |             |         |         |
| Source                                      | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
| Between groups                              | 33,6667        | 3  | 11,2222     | 1,08    | 0,4119  |
| Within groups                               | 83,3333        | 8  | 10,4167     |         |         |
| Total (Corr.)                               | 117,0          | 11 |             |         |         |

**Elaboración de folleto informativo.** Se elaboró un folleto que describe de manera sencilla y práctica la información concerniente al proceso de compostaje, el procedimiento más idóneo a seguir para obtener un producto final de calidad, que cumpla con los requerimientos establecidos en la normatividad colombiana. (Ver anexo 4).

## **7. DISCUSIÓN**

### **7.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPOSTADO**

Existen diversas experiencias que utilizan residuos de poda para compostar. Considerando la Relación C:N del material de partida, los valores obtenidos (20 - 32) en este estudio se encuentran dentro del rango razonable propuesto en el Manual de la Corporación Tecnológica de Chile<sup>70</sup>, por Muñoz<sup>71</sup> y por la OMS<sup>72</sup>. Por el contrario, se pueden citar casos como el de Arrigo<sup>73</sup>, cuyo material de partida, que consistió en residuos de poda, presentó una Relación C:N por encima de los rangos óptimos y razonables planteados por los autores anteriormente citados pero obteniendo buenos resultados en el producto final.

La concentración de Nitrógeno en el material de partida debe estar entre 1 y 1.5% de acuerdo a la bibliografía especializada con el fin de asegurar un buen ataque microbiológico, y si esta por encima de 1.5%, parte de ese Nitrógeno se volatilizará por superarse con esa cantidad el nivel de requerimiento microbial.

### **7.2 PARÁMETROS DE FÍSICO QUÍMICOS DE CONTROL**

Los parámetros de control seleccionados fueron determinantes para la obtención de un producto final adecuado.

El tamaño ideal de partida no fue el más adecuado, ya que se dificultó el proceso de trituración y separación de los diferentes residuos que conforman el sustrato, lo cual pudo retrasar el proceso o dificultó la descomposición de los mismos. Al ser partículas demasiado grandes, presentan poca superficie de contacto para ser atacadas por los microorganismos, haciendo que el tiempo de procesamiento se alargue y que los materiales se transformen parcialmente. Por esto, la relación entre el área superficial debe favorecer la transformación de la materia orgánica, y el tamaño de las partículas, debe garantizar una adecuada aireación. El tamaño ideal de las partículas debe ser de 1 a 5 cm.

---

<sup>70</sup> CORPORACIÓN DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA DE CHILE, Op.cit., p. 26.

<sup>71</sup> MUÑOZ, Op.cit., p. 17.

<sup>72</sup> PRAVIA, et. al., Op. cit., p. 21.

<sup>73</sup> ARRIGO, et. al., Op. cit., p. 5.

De acuerdo con los resultados obtenidos para temperatura, se puede decir que esta fue incrementándose paulatinamente debido a los problemas de tamaño de la pila, ya que diversas experiencias de compostaje con residuos de poda demuestran la efectividad de las pilas de dimensiones significativamente mayores a las utilizadas en este estudio para lograr notables incrementos en la temperatura (Ver anexo 3, figuras 39 y 40).

Por otra parte, se presentaron algunas dificultades a la hora de humedecer (cuando se notaba desecación) y airear las pilas (cuando se notaba exceso de humedad), por cuestiones de horario y poca disponibilidad de mano de obra, principalmente a partir de la semana 3, (Véase figura 7) cuando se observan fluctuaciones de este parámetro.

El comportamiento de pH fue el esperado para los 4 tratamientos. Inicialmente, como sucede en la fase mesófila el pH fue ligeramente ácido lo que se explica por el metabolismo de organismos mesófilos (bacterias y hongos) que transforman complejos carbonados de fácil degradación en ácidos orgánicos. Posteriormente, se presentó un incremento de este parámetro alcanzando valores por encima de 8.0 como consecuencia de la formación de amoníaco por la transformación de las proteínas por parte de las bacterias que prefieren un entorno casi neutro. Nuevamente se puede observar un espaciamiento significativo entre los cambios de pH a lo largo del proceso por la relación directa que existe entre temperatura y pH, ya que al no haber un buen incremento en la temperatura (que refleja la actividad microbiana), no puede haber un desempeño adecuado en este parámetro.

Finalmente, el pH disminuyó alcanzando valores cercanos a 7, lo que coincide con la fase de maduración y con los valores óptimos propuestos por la bibliografía especializada para el producto final.

La humedad fue otro factor importante a tener en cuenta para el control del proceso. Inicialmente se observó una humedad deficiente dadas las condiciones iniciales del material a compostar, ya que permanecieron mucho tiempo a la intemperie expuesto a altas temperaturas y a la desecación del aire. Posteriormente, con el riego alcanzó un contenido significativamente alto de humedad (por encima del 60%) lo cual, debido a las imposibilidades de volteo por cuestiones de horario y disponibilidad de mano de obra, pudo haber repercutido negativamente en la temperatura. Sin embargo, este parámetro tuvo un comportamiento esperado, ya que disminuyó levemente alcanzando valores relativamente altos al final, y tampoco provocó problemas de olores, que se presenta al haber condiciones anaeróbicas. Por ello se recomienda, con el fin de



mantener condiciones de humedad adecuadas en el proceso, procurar monitorear este parámetro de manera minuciosa, complementando con el volteo de las pilas para favorecer el proceso aeróbico y así garantizar su buen desempeño.

Con respecto a la relación C:N, se pudo observar una tendencia decreciente esperada en todos los tratamientos. Sin embargo, en el transcurso del ensayo se pudo observar leves incrementos en esta relación para finalmente disminuir, especialmente en los tratamientos 2 y 3.

Se cree que estos leves incrementos se pudieron presentar debido múltiples factores como la falta de uniformidad en el tamaño de las partículas del material, lo que ocasionó que los microorganismos atacaran y degradaran los sitios de las pilas con partículas de tamaño adecuado y luego disminuyeran su velocidad de trabajo hasta que por medio de un volteo, se les proporcionara material de otro sitio de la pila sobre el cual dichos microorganismos pudieran volver a trabajar rápidamente.

Los resultados expresados en las tablas muestran que los tratamientos inoculados presentan una Relación C:N menor que el no inoculado, lo que puede deberse a una mayor tasa de liberación de carbono en forma de CO<sub>2</sub> y la utilización de nitrógeno por parte de los microorganismos para la formación de tejido celular, permaneciendo en el sistema, siendo el tratamiento 3 el que presentó una mayor mineralización del compost (11,53%). Sin embargo Mari et al<sup>74</sup>, en un estudio de compostaje con inoculación del material, los tratamientos no inoculados presentaron menor relación C:N que sus respectivos inoculados, lo cual atribuyen a la aplicación de inoculantes que aumenta la mineralización del Nitrógeno orgánico a nitrógeno mineral como resultado de una mayor actividad microbiana.

En cuanto a la duración del proceso, se pudo conocer de la experiencia de compostaje con residuos de poda presentada en Villavicencio<sup>75</sup> que en promedio es de aproximadamente 60 días; no obstante se pueden presentar variaciones de las fases del proceso, la temperatura, el pH y la humedad dependiendo de la composición del material inicial y las condiciones ambientales. Se reporta que

---

<sup>74</sup> MARI, et. al. Thermogradient respirometry as a tool for measurement compost stability. Acta Horticulturae 549. International Society for Horticultural science. En: International Symposium on Composting of Organic Matter (2001. Macedonia). Memoirs of the International Symposium on Composting of Organic Matter. Macedonia, 2001. p. 89-98. Citado por PINO, Paulina, et. al. Dinámica del compostaje de residuos vitivinícolas con y sin incorporación del guano broiler. En: Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal. Vol. 5, No. 2 (Jul. - Dic. 2005); p. 24.

<sup>75</sup> ENTREVISTA con Carolina Galindo. Jefe de Transformación de Residuos BioAgrícola del Llano S.A. E.S.P. Villavicencio, Mayo de 2007.

entre más tiempo permanezcan los materiales en la pila, más probabilidad existe de obtener una mejor degradación y madurez.

El tiempo de compostaje con residuos de poda en la EMAVI fue de aproximadamente 24 semanas (6 meses), resultado que dista de manera significativa del obtenido en Villavicencio, con una duración de efectivamente 60 días (8 semanas) con temperaturas de máximas de 76.5 °C, debido a la diferencia en el material de entrada (residuos de poda 20%, cascarilla de arroz 10%, contenido ruminal 20% y de residuos de plazas 50%) y las condiciones ambientales (con temperaturas máximas de 40°C); otros factores que inciden en esta diferencia son el alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina de los residuos de poda de la EMAVI, los cuales son componentes de lenta y difícil degradación, y el tamaño de las partículas que como se mencionó anteriormente no fue el ideal, lo cual dificultó y demoró el proceso de degradación.

La eficiencia es un indicador del proceso de compostaje, ya que da una idea de la cantidad de material que se recupera cuando el proceso llega a su fin. Se puede afirmar que del material inicial se recuperó entre un 64 y 67% para los 4 tratamientos. Los restos de tallos, frutos, etc. que resultaron del tamizado no corresponde a material de rechazo y no se descompusieron pueden triturarse y reintroducirse a las pilas para que continúen el proceso.

### **7.3 PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DE RESPUESTA**

De acuerdo a los resultados que se muestran en las tablas 9 y 10, se puede afirmar que el compost obtenido a partir de los diferentes tratamientos presenta características similares. Con respecto a los parámetros que determinan la calidad del producto final, se puede observar que la mayoría de ellos cumplen a cabalidad con la Norma NTC 5167 y con los rangos propuestos por los autores que allí se citan. Sin embargo, los valores de humedad se exceden en los 4 tratamientos siendo de 62.44%, 57.48%, 58.94% y 55.73% respectivamente. Por otra parte, se hallaron niveles muy bajos de fósforo, correspondientes a 0.03% en los 4 tratamientos.

El compost obtenido suministra 3 elementos básicos (N, P, K), los cuales son los que normalmente se pierden y se adicionan al suelo como fertilizantes. Los valores de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (N,P,K) son menores al 2%, razón por la cual de acuerdo a la NTC 1927 el producto del proceso debe ser utilizado como acondicionador de suelo o enmienda orgánica o como abono orgánico si se le adicionan otros compuestos para incrementar la concentración de tales nutrientes.

Otros nutrientes importantes son el Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S) y el hierro (Fe), manganeso (Mn), Zinc (Zn) y cobre (Cu). Estos elementos son requeridos en niveles muy bajos por las plantas, ya que en concentraciones altas son considerados fitotóxicos y potencialmente contaminantes para el medio ambiente. Los valores obtenidos de estos nutrientes en el compost obtenido son bastante menores a los reportados en la NTC 5167 y en la bibliografía especializada.

La capacidad de intercambio catiónico es un parámetro utilizado para referirse a la capacidad que tiene un suelo para retener e intercambiar cationes utilizados por las plantas para su alimentación y procesos fisiológicos, por lo tanto refleja la potencial fertilidad de dicho suelo. Los cationes o nutrientes son iones y moléculas de carga positiva, por ejemplo el Ca, Mg, K, Na y  $\text{NH}_4$ <sup>76</sup>. Los valores de CIC obtenidos en el compost se encuentran entre 108.76 y 120.47 meq/100g, siendo mayor el obtenido en el tratamiento 3.

A partir de esto se puede afirmar que como el compost es una fuente de materia orgánica además de mejorar las propiedades físicas y biológicas del suelo, puede indirectamente mejorar las propiedades químicas de un suelo al aumentar la CIC de ese suelo al que se aplica.

## **7.4 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS**

Con relación a los resultados obtenidos para la cantidad de coliformes totales y fecales evaluados en el ensayo, los análisis arrojan un número elevado de este parámetro y que no se encuentra dentro del rango establecido por la NTC-1927 para este tipo de enmienda. Se cree que este elevado número es debido a que las pilas de compostaje no alcanzaron las temperaturas máximas recomendadas (alrededor de 70°C) que garantiza la esterilización del material compostado.

El poco incremento de la temperatura fue ocasionado por la baja altura y las reducidas dimensiones de las pilas de compost. Las pilas del material no se pudieron construir con las dimensiones recomendadas por la literatura revisada, debido a la poca disponibilidad de espacio que la EMAVI destinó para la realización del experimento.

---

<sup>76</sup> GÓMEZ, Op cit., p. 72.

## 8. CONCLUSIONES

- Los residuos de poda resultantes del mantenimiento de zonas verdes tienen un gran potencial, que ha sido aprovechado a nivel internacional. En nuestro país, se conocen algunas experiencias, pero la mayoría de ellas se desarrollan de manera artesanal sin un rigor científico cuidadoso del proceso.
- Los residuos presentaron valores de C:N dentro de los rangos adecuados para ser utilizados como materia prima para la obtención de compost. No es necesario el uso de úrea como fuente de Nitrógeno.
- Se obtuvo una alta eficiencia del proceso, por el orden del 66% para todos los tratamientos, después de la adición del compost maduro, lo cual refleja la acción del compost maduro, el suero de leche, la levadura activa de cerveza y la melaza introducidos a los 150 días de iniciado el proceso.
- El residuo de tamizado consiste en hojas, tallos y frutos que no se descompusieron durante el proceso y pueden ser reintroducidos a las pilas de compostaje para que continúen el proceso.
- No se justifica el uso de EM de tipo comercial en el proceso de compostaje para estos residuos de poda (al menos la marca comercial utilizada). Su uso no aceleró el proceso ni disminuyó el tiempo de compostaje.
- La Capacidad de intercambio catiónico (CIC) del producto terminado es buena y nos muestra su potencialidad para ser usada como enmienda de tipo orgánico para el mejoramiento de las propiedades físicas y biológicas de la EMAVI.
- El compost obtenido, no cumple con los parámetros microbiológicos exigidos en la norma ICONTEC para ser utilizado como enmienda de tipo orgánico.

- La alta carga microbiológica presentada por el compost obtenido se debe a que las pilas no alcanzaron las temperaturas indicadas durante el proceso de compostaje. Esta baja temperatura es producto del reducido tamaño de las pilas ocasionado por el espacio insuficiente para el montaje del ensayo.
- Se observó la presencia de ratas y mosquitos en el lugar del ensayo, lo cual fue debido al estancamiento de agua y la presencia de otro tipo de residuos sólidos alrededor del lugar.

## 9. RECOMENDACIONES

- No se pudo cuantificar la cantidad de residuos de poda generados por las zonas verdes de la EMAVI. Se recomienda diseñar una metodología adecuada para esto o establecer un mayor control y seguimiento del personal encargado de esta labor para poder establecer con precisión esta cantidad.
- Montar siempre las pilas con las dimensiones recomendadas en este trabajo para alcanzar las temperaturas ideales y poder garantizar un compost que cumpla con los parámetros microbiológicos de la norma ICONTEC.
- Realizar un manejo más adecuado de los residuos sólidos y establecer un sistema apropiado de drenaje de la zona, y así evitar inundaciones y la presencia de ratas y mosquitos
- Para próximos estudios de compostaje con este tipo de material se recomienda realizar análisis microbiológicos detallados para detectar la presencia de microorganismos fitopatógenos tales como *Fusarium spp*, *Botrytis sp*, *Rhizoctonia sp* y *Phytophthora sp* así como también para determinar la presencia de nemátodos.

## BIBLIOGRAFÍA

ANÁLISIS AMBIENTAL LTDA; ESCUELA MILITAR DE AVIACIÓN. Plan de Manejo ambiental. Santiago de Cali: Escuela Militar de Aviación, 2004. 100 p.

AVENDAÑO ROJAS, Daniella. El proceso de compostaje. Santiago de Chile, 2003. 38 p. Trabajo de grado (Ingeniera Agrónoma). Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal.

ARRIGO, Nilda; JIMÉNEZ, Maria de la Paz; PALMA, Rosa; BENITO, Marta; TORTAROLO, Maria. Residuos de poda compostados y sin compostar: uso potencial como enmienda orgánica en suelo. En: Revista Ciencias del Suelo. Vol. 23, No. 1 (Ene. – Jul. 2005).

BARCELÓ, Juan. Fisiología Vegetal. 2 ed. Madrid: Ediciones Pirámide S.A., 1983. 813 p.

BIOAGRÍCOLA DEL LLANO S.A E.S.P. Transformación de residuos [en línea]. Villavicencio: Bioagrícola del Llano S.A. E.S.P, 2005. [Consultado 23 de Diciembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.bioagricoladelllano.com.co>

BONGCAM VASQUEZ, Elkin. Guía para compostaje y manejo de suelos. Bogotá, D.C.: Convenio Andrés Bello, 2003. 31 p.

BLANCO SANDOVAL, José Orlando. Acondicionadores y mejoradores del suelo. Cúcuta: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (Pronatta), 2003. 28 p.

CONSEJO EMPRESARIAL COLOMBIANO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE (CECODES). Reutilización y Reciclaje de Residuos Vegetales: el caso de ASOCOLFLORES [en línea]. Bogotá, D.C.: CECODES, 1996. [Consultado 07 de Septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://cecodes.org.co/ecoeficiencia/1996/asocolflores.htm>

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE ANTIOQUIA (CORANTIOQUIA); GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES (GIEM); CORPORACIÓN ACADÉMICA PARA EL ESTUDIO DE PATOLOGÍAS TROPICALES. Manejo y evaluación de la porquinaza mediante proceso de compostación. Cartilla Técnica. Medellín: Universidad de Antioquia, 2003. 43 p.

CORPORACIÓN DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA DE CHILE. Manual de Compostaje. Santiago de Chile: INTEC, 1999. 82 p.

CUERDA QUINTANA, Joseph; PALAUS, Thema. El mundo de las plantas. Atlas botánica. Madrid: Editorial Cultural S.A., 2005. 112 p.

Curso Básico Statgraphics Plus. Versión 5.0 [CD-ROM] Madrid: Servicio Informático de Apoyo a la Docencia e Investigación (SIADI). Universidad Complutense de Madrid, 2000. 1 CD-ROM.

ENTREVISTA con Carolina Galindo. Jefe de Transformación de Residuos BioAgrícola del Llano S.A. E.S.P. Villavicencio, Mayo de 2007.

ENTREVISTA con Elizabeth Arango, Profesional Externa. Unidad de Educación. Empresa de Servicios Varios (EMSIRVA E.S.P). Santiago de Cali, 25 de Enero de 2008.

ENTREVISTA con Harold Hernández, Ingeniero Agrónomo de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Santiago de Cali, 03 de Diciembre de 2007.

ENTREVISTA con Jorge Charria. Funcionario de Departamento Administrativo de Medio Ambiente (DAGMA). Santiago de Cali, 25 de Febrero de 2008.

ENTREVISTA con Moisés Quintana. Técnico de CAVASA. Santiago de Cali, 07 de Diciembre de 2007.

FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES (FAUBA). El compostaje, una alternativa para el tratamiento de residuos verdes



[en línea]. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2006. [Consultado 21 de Septiembre 2006]. Disponible por Internet:

<http://www.agro.uba.ar/comunicacion/divulga/archivo/compostaje.htm>

FORERO VALENCIA, Ángela Adriana. Aprovechamiento y compostaje de los residuos vegetales producto del mantenimiento de las zonas verdes de Cali. Santiago de Cali, 2007. 11 p. Anteproyecto de grado (Ingeniera Agroforestal). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas - Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC).

FUNDACIÓN HOGARES JUVENILES CAMPESINOS. Manual de Agricultura Alternativa: Principios. Bogotá, D.C.: Ediciones San Pablo, 2004. 96 p.

GÓMEZ SCHOUBEN, Carolina. Aprovechamiento del buchón de agua *Eichornia Crassipes* como enmienda orgánica en el Ecoparque Lago de las Garzas. Santiago de Cali, 2005. 116 p. Trabajo de grado (M.s.c. énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería.

GRAVES, R.E. Composting. En: Part 637. Environmental Engineering. National Engineering Handbook. United States Department of agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS). Chapter 2 (2000); 88 p.

HERRERA, Leonardo. Con la basura crearon un abono para tierras áridas. En: El Tiempo, Santiago de Cali (09, Dic., 2006); p. 1-16.

INFOAGRO. El compostaje [en línea]. Madrid: Infoagro, 2006. [Consultado 19 de Septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>

Informe Ambiental Empresas Públicas de Medellín (E.S.P). Medellín, 2006. 80 p.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). Fertilización en diversos cultivos: Quinta aproximación. Tibaitatá: Produmedios Ediciones, 1992. 64 p.

----- Resolución 00150 de 2003: Por el cual se adopta el reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos para Colombia. Bogotá, D.C., 2003. 18 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones, clasificación y fuentes de materias primas. Santafé de Bogotá D.C.: ICONTEC, 2003. 16 p. NTC 1927.

-----. Productos para la industria agrícola. Materiales orgánicos usados como fertilizantes y acondicionadores del suelo. Santafé de Bogotá, D.C.: ICONTEC, 2003. 38 p. NTC 5167.

IÑIGUEZ, Gilberto; PARRA, Javier; VELASCO, Patricia. Utilización de subproductos de la industria tequilera: Parte 8. Evolución de algunos constituyentes de la mezcla de biosólidos-bagazo de agave durante el compostaje. En: Revista Internacional. Contaminación Ambiental. Vol. 22, No. 2 (2006); p 83-93.

LABRADOR MORENO, J. La materia orgánica en los agrosistemas. 2 ed. Madrid: Ediciones Mundiprensa, 2001. 174 p.

LÓPEZ, Piedad. Compostaje de residuos orgánicos. Santiago de Cali: Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, 2002. 100 p.

LUNA, Luz Alba; VILLAMIZAR, Jaime. Compostaje solarizado. Bogotá, D.C. Centro de investigación "El Arsenal" CORPOICA – COLCIENCIAS, 2004. 2 p.

MANCOMUNIDAD DE SAN MARCOS. El tratamiento de los residuos. Gipuzkoa: Mancomunidad de San Marcos, 2006. 136 p.

MACHADO MATURANA, Maritza., RUEDA MONTENEGRO Ana Maria. Optimización del Compostaje Aerobio mediante el uso de Inóculos Orgánicos. Santiago de Cali, 2000. 103 p. Trabajo de grado (Ingeniera Sanitaria). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Departamento de Procesos Químicos y Biológicos.

MINISTERIO ESTATAL DE BAVIERA PARA EL DESARROLLO PROVINCIAL Y ASUNTOS DEL MEDIO AMBIENTE. De residuos verdes a compost: Manual para el compostaje de residuos vegetales. Baviera: Cooperación Técnica Alemana, 2001. 25 p.

MORA DELGADO, Jairo Ricardo. Contribuciones del compost al mejoramiento de la fertilidad del suelo [en línea]. Manizales: Revista Científica Luna Azul versión online, 2002. [Consultado 07 de Septiembre de 2006]. Disponible en Internet [http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=294&Itemid=294](http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=com_content&task=view&id=294&Itemid=294)

MUÑOZ TROCHEZ, José Sélamo. Compostaje en Pescador, Cauca: tecnología apropiada para el manejo de residuos orgánicos y su contribución a problemas medioambientales. Palmira, 2005. 105 p. Trabajo de grado (Ingeniero Ambiental). Universidad Nacional Sede Palmira. Facultad de Ingeniería y Administración.

NARBÓN, Ana. Cien por cien natural: La Planta de Compostaje de Migas Calientes acoge todos los residuos de poda de la capital [en línea]. Madrid: Madridiario, el diario digital de Madrid, 2004. [Consultado 21 de Septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.madriario.es/mdo/reportajes/reportajesmedioambiente/migascalientes-171204.php>

O'LEARY, Phillip R; WALSH, Patrick W. Decision Maker's Guide to Solid Waste Management: Chapter 7. Wisconsin: Solid and Hazardous Waste Education Center, University of Wisconsin-Madison/Extension, 1995. 58 p.

ORGANIZACIÓN CORAZÓN VERDE. Historia del compostaje [en línea]. Madrid: Ilustrados.com, 1996. [Consultado 21 de Septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpyZpkZAVVfGthWmvt.php>

PINO, Paulina; VAMERO, Maria Teresa; ALVARADO, Pablo. Dinámica del compostaje de residuos vitivinícolas con y sin incorporación del guano broiler. En: Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal. Vol. 5, No. 2. (Jul. - Dic. 2005); p 19-25.

PRAVIA, Miguel A; SZTERN, Daniel. Manual para la elaboración de compost: Bases conceptuales y procedimientos. Montevideo: Oficina de Planeamiento y presupuesto. Unidad de Desarrollo Municipal. Organización Panamericana de la Salud, 1999. 69 p.

RAMIREZ P, Ramiro; RESTREPO Y, Ronny. Evaluación de la aplicación del abono tipo bocashi en las propiedades físicas de un suelo degradado del municipio de Marinilla, Antioquia. Medellín, 2006. 24 p. Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

REKONDO, Julen. Los restos de alimentos de comedores colectivos convertidos en abono [en línea]: Gipuzkoa: Comunidad Autónoma del País Vasco, 2003. [Consultado 10 de Marzo de 2007]. Disponible en Internet: [http://www.euskadi.net/r33-2732/es/contenidos/informacion/3269/es\\_2608/adjuntos/65\\_22\\_23\\_c.pdf](http://www.euskadi.net/r33-2732/es/contenidos/informacion/3269/es_2608/adjuntos/65_22_23_c.pdf)

REY LÓPEZ, Miguel Ángel. Organismos que intervienen en el proceso de compostaje [en línea]. Barcelona: Compostadores S.L., 2004 [Consultado 23 de Septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.compostadores.com/v3/castellano/articulos/detalles.asp?ArticulosID=29>

RICHARD, Thomas L.; SKELTON, Kate. Yard waste composting. Fact sheet 2. New York: Departament of Agricultural and Biological Engineering, Cornell University – Cornell waste Management Institute, 1990. 4 p.

RIOS RODRIGUEZ, Diego Raúl; VELÁSQUEZ BONIVENTO, Manuel. Diseño de un proyecto piloto de fabricación de compost a partir del aprovechamiento de los residuos orgánicos en la Escuela Militar De Aviación “Marco Fidel Suárez”. Santiago de Cali, 2006. 63 p. Trabajo de Grado (Administradores Aeronáuticos). Escuela Militar De Aviación “Marco Fidel Suárez”.

RUEDA PEÑA, Paula Andrea. Compostaje con EM. Factores importantes. [en línea]. Bogotá, D.C.: Fundación de Asesorías para el Sector Rural (Fundases), 2003. [Consultado 10 de Noviembre de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.fundases.com/p/pub-compostaje02.html>

SAHAGÚN GALLEGÓ, José. Planta de Compostaje de Residuos Vegetales (Villanueva de la Cañada, Madrid). En: I CONGRESO DE INGENIERÍA CIVIL, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE (2002. Madrid). Memorias del I congreso de ingeniería civil, territorio y medio ambiente. Madrid, 2005. 22 p.

SHERMAN, Rhonda. Large-Scale Organic Materials Composting. Raleigh: North Carolina Cooperative Extension Service, 1999. 15 p.

SILVA, Juan Pablo; LÓPEZ, Piedad; VALENCIA, Pady. Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. Santiago de Cali: Escuela de Ingeniería de los Recursos naturales y del Ambiente (EIDENAR), 2004. 25 p.

SOLOMON, Eldra Pearl; MARTIN, Diana W.; BERG, Linda R. Biología. 5 ed. México: Mc Graw Hill/Interamericana, 2001. 1300 p.

URIBE LÓPEZ, José Pablo; VANEGAS BARRERA, Andrés.; CARDONA GONZÁLEZ, Francisco Alejandro. Plan de negocios para la creación de una planta de procesamiento de residuos sólidos urbanos para la producción de compost: viabilidad para tres ubicaciones en la ciudad de Bogotá y sus alrededores. Bogotá, D.C., 2004. 412 p. Trabajo de Grado (Ingeniero Industrial). Pontificia Universidad Javeriana Sede Bogotá. Facultad de Ingeniería.

VIDAL, Coronel. Jornada Nacional del Reciclado: Temas de compostado [en línea]. Buenos Aires: Asociación Civil Argentina Pro Reciclado del PET, 2000. [Consultado 24 de Septiembre de 2006]. Disponible en Internet: [http://www.arpet.org/en\\_linea/temas.htm](http://www.arpet.org/en_linea/temas.htm)

## ANEXOS

### Anexo 1. Determinación de la relación C:N inicial en los tratamientos

$$\text{relación } C/N = \frac{C}{N} \quad \text{por lo tanto} \quad \%N = \frac{\%C}{RC/N}$$

*Las relaciones C:N ideales al inicio:*

$$RC/N = 25 \quad RC/N = \%N = \frac{49.57}{25} = 1.982\% \quad \text{Incremento porcentual } 1.12\%$$

$$RC/N = 30 \quad RC/N = \%N = \frac{49.57}{30} = 1.692\% \quad \text{Incremento porcentual } 0.792\%$$

*Si hay 45 g. de N por 100 g. de Urea, entonces:*

|                           |   |                        |
|---------------------------|---|------------------------|
| 100 g de material vegetal | → | 1.12 g de N → X        |
|                           |   | 45 g de N → 100 g Urea |

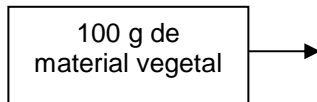
$$X = \frac{1.12 * 100}{45} = 2.48g$$

*Si en 100 g → 2.48 g de Urea*

*1000 g → X*

$$X = \frac{1000 * 2.48}{100} = 24.8g$$

24.8 g de urea por c/ 100 g. de material vegetal.



0.79g de N  $\longrightarrow$  X

45g de N  $\longrightarrow$  100g Urea

$$X = 1.75g \text{ Urea} / 100g \text{ de material vegetal}$$

Para Relación C:N de 25  
Para Relación C:N de 30

24.8g de Urea/1Kg. de material vegetal  
17.55g de Urea/1Kg. Material vegetal

**Anexo 2. Cuantificación y caracterización de los materiales agregados a los 150 días del proceso de compostaje**

**FICHA TECNICA  
FERCON COMPOST: USO AGRICOLA Y JARDINERIA  
ACONDICIONADOR ORGANICO DE SUELOS  
PRODUCIDO POR INCUBADORA SANTANDER S.A.  
REGISTRO DE VENTA ICA Nº 4875**

|   |               |
|---|---------------|
| NITROGENO TOTAL (N)                                 | 1.4 %         |
| FOSFORO ASIMILABLE (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 3.9 %         |
| POTASIO SOLUBLE EN AGUA K <sub>2</sub> O            | 3.0 %         |
| CALCIO (CaO)  | 9.0 %         |
| MAGNESIO (MgO)                                      | 1.7 %         |
| CARBONO ORGANICO OXIDABLE                           | 22.0 %        |
| RELACION CARBONO/NITROGENO                          | 15.0          |
| CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO                  | 34.1 mEq/100g |
| DENSIDAD  | 0.41 g/ml     |
| pH  | 8.96          |
| CENIZAS   | 24.2 %        |
| HUMEDAD MAXIMA                                      | 20.0 %        |

**CREMA AGRIA  
PRODUCIDO POR: COLANTA S.A.  
REGISTRO INVIMA RSAA02113101**

Crema de leche pasteurizada (35% m/m grasa mínima)  
Cultivo láctico específico  
Leche en polvo descremada  
Cloruro de sodio  
Emulsificante (Carragenina)  
Conservantes (Benzoato de sodio, Sorbato de potasio)



**LEVADURA DE CERVEZA  
PRODUCIDO POR: LEVAPAN S.A.  
RRREGISTRO SANITARIO RSIKV09M14687**

Levadura de panadería (*Saccharomyces cerevisiae*)

### Anexo 3. Registro fotográfico



Figura 15. Condiciones inundables del terreno



Figura 16. Proceso de compostaje anteriormente realizado en la EMAVI

|



Figura 17. Acondicionamiento del terreno con terraplén



Figura 18. Elaboración de las camas



Figura 19. Homogenización de los residuos a compostar



Figura 20. Pesaje de los residuos a compostar



Figura 21. Montaje y cubrimiento de las pilas de compost



Figura 22. Proceso de degradación de los residuos de poda



Figura 23. Extractor Kjeldahl



Figura 24. DeseCADOR



Figura 25. Balanza de precisión



Figura 26. Proceso de degradación de materia orgánica y manejo de lixiviados





Figura 27. Distribución de las pilas en el terreno



Figura 28. Distribución de las pilas en el terreno



Figura 29. Disposición de residuos de poda a cielo abierto



Figura 30. Disposición de residuos de poda a cielo abierto



Figura 31. Disposición de residuos de poda a cielo abierto



Figura 32. Antiguo proceso de compostaje



Figura 33. Compost obtenido para el tratamiento 1



Figura 34. Compost obtenido para el tratamiento 2



Figura 35. Compost obtenido para el tratamiento 3



Figura 36. Compost obtenido para el tratamiento 4



Figura 37. Compostera tipo invernadero en CAVASA



Figura 38. Compostera tipo invernadero en CAVASA



Figura 39. Pilas de compost de la planta CAVASA



Figura 40. Pilas de compost de la planta CAVASA



Figura 41. Trituradora de residuos de poda



## Anexo 4. Folleto ilustrativo Lado A

### ¿CÓMO VERIFICO SI ESTÁ LISTO?

Para verificar si el compost está listo y ser utilizado como abono orgánico, se deben cumplir las siguientes características:

- Color oscuro
- Olor agradable
- Consistencia homogénea
- Textura suave
- No se distinguen los materiales inicialmente usados
- No tiene materiales inertes
- Granulometría fina



Proyecto

SUSANA CARDONA CASTELBLANCO

LEIDY JOHANNA HERNÁNDEZ

Director

ING. JOSÉ MILLER GALLEGO

## GUIA PARA LA ELABORACION DE COMPOSTAJE CON RESIDUOS DE PODA



## Folleto ilustrativo lado B

### ¿QUÉ ES EL COMPOSTAJE?

Es un proceso de degradación biológica de la materia orgánica como residuos de cocina, agroindustriales, restos vegetales y animales; que a través del tiempo y bajo condiciones controladas de temperatura, pH, humedad y aireación se obtiene un abono orgánico (denominado Compost) rico en nutrientes que mejora el suelo y nutre las plantas.

### VENTAJAS DEL COMPOST

- El compost es un elemento indispensable para evitar la erosión.
- Aporta nutrientes de manera progresiva.
- Mejora las propiedades físicas del suelo:
- Favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo dando cohesión a los suelos arenosos y soltura a los compactos.
- Reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad.
- Aumenta la capacidad de retención de agua en el suelo.
- Mejora las propiedades químicas: mayor contenido en macronutrientes N, P, K, y micronutrientes.
- Incrementa la capacidad de intercambio catiónico -C.I.C.-.
- Mejora la actividad biológica del suelo.

### ¿CÓMO ELABORAR COMPOST?

#### Materiales

|                  |                  |
|------------------|------------------|
| 80 kilos         | Material vegetal |
| 15 kilos         | Compost maduro   |
| 20 litros        | Agua             |
| 3 litros         | Melaza           |
| 100 ml           | Suero Costeño    |
| 250 gramos       | Levadura         |
| 4 m <sup>2</sup> | Plástico negro   |

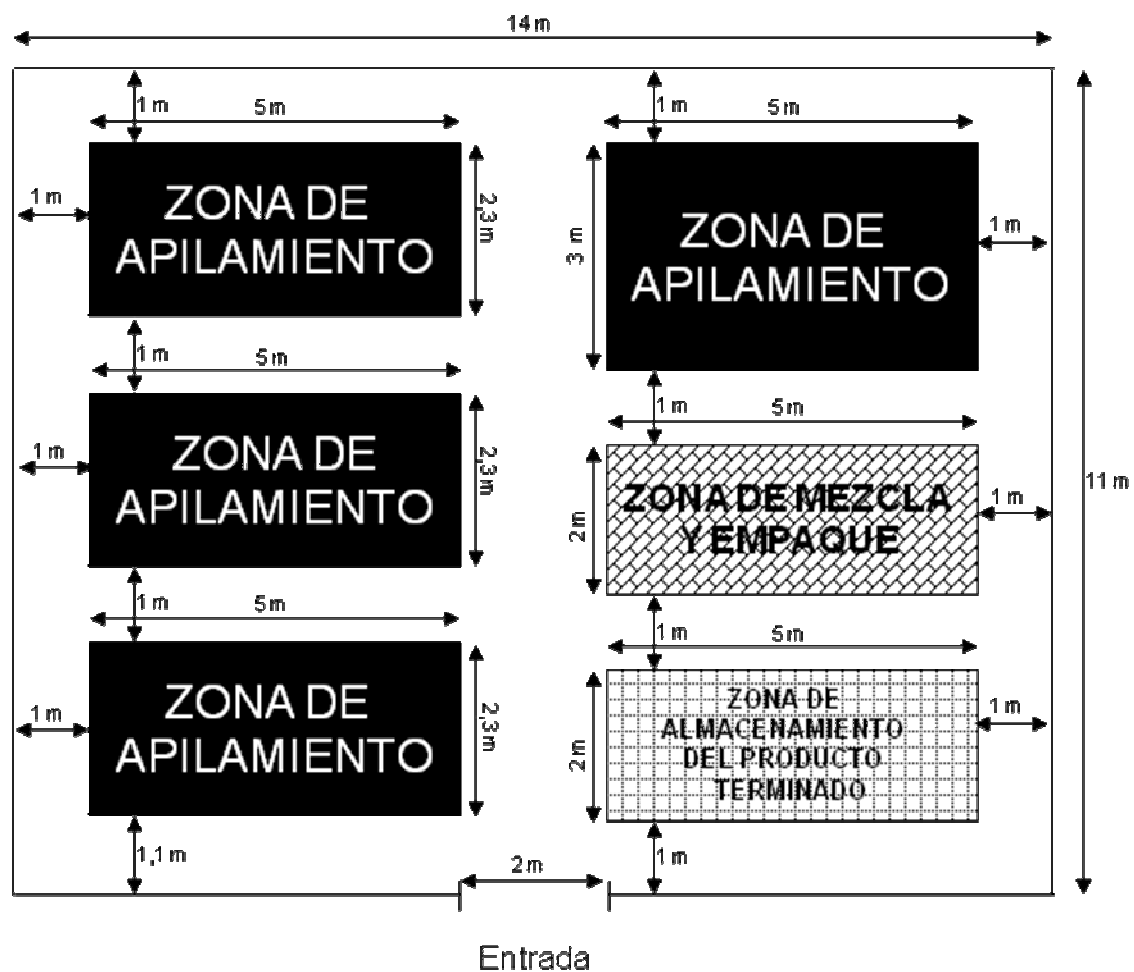


Se mezclan 80 kilos de material vegetal (hojas + pasto) con 20 kilos de compost maduro formando una pila o montón de 1,5 m. largo x 1 m. ancho x 1,5 m. alto. En un balde con 20 litros de agua se adicionan 3 litros de melaza, 100 ml. de suero costeño, 250 gr. de levadura y se revuelve hasta disolver; esta mezcla se esparce en la pila previamente armada y se cubre con el plástico. Transcurridas 48 horas de haber armado la pila, se realiza el primer volteo. Posteriormente se efectúan volteos y riego por lo menos 2 veces por semana durante el proceso de compostaje, y finalmente, en 16 semanas (aprox.) se obtendrá compost de calidad.

### PROBLEMAS FRECUENTES

| Problema  | Causa   | Solución  |
|---|---|---|
| Malos olores  | Exceso de humedad                                 | Voltear la pila   |
|   | Pila demasiado grande                             | Hacer la pila más pequeña   |
|   | Excesiva compactación                             | Voltear   |
|   | Superficie empapada                               | Voltear y reducir humedad   |
| Baja temperatura de la pila   | Pila muy pequeña                                  | Juntar dos pilas  |
|   | Relación C:N incorrecta                           | Corregir  |
|   | Humedad insuficiente o exagerada                  | Agregar agua en el volteo – evitar demasiado riego.                                   |
|   | Poco oxígeno o demasiado oxígeno                  | Voltear la pila   |
| Disminución repentina de temperatura  | Desecación exagerada de la pila                   | Humedecer con agua.   |
|   | Todo el nitrógeno disponible ya ha sido consumido | Añadir materiales ricos en nitrógeno  |
| Alta temperatura  | Pilas muy grandes                                 | Reducir el tamaño   |
|   | Alta compactación                                 | Voltear la pila   |
| Compost adquiere color blanco polvoriento (Desarrollo de hongos muy fuerte) | Material demasiado seco                           | Añadir material rico en nitrógeno.  |
|   | Material no mezclado durante mucho tiempo         | Mezclar los materiales o hacer la pila de nuevo. Humedecer con agua.                  |
| Compost adquiere un color negruzco (pudrición del compost)                  | Falta de aire y estructura                        | Preparar el montón de nuevo añadiendo material voluminoso y con una Relación C:N alta |
|   | Relación C:N muy baja                             | Relación C:N alta   |
|   | Material demasiado húmedo                         | Remover el compost más frecuentemente durante el periodo de calentamiento             |
| Superficie empapada   | Depresión del tope                                | Rellenar el tope  |
|   | Pendiente inadecuada                              | Aumentar la pendiente   |
| Vectores (Ratas, Mosquitos)   | Presencia de restos de alimentos                  | Eliminar los restos de comida   |
|   | Presencia de agua estancada                       | Eliminar el agua y mejorar el drenado   |
| Contaminación de aguas superficiales o subterráneas                         | Descarga de lixiviados                            | Tratamiento de lixiviados   |
|   | Excesiva temperatura                              | Hacer pilas más pequeñas  |
| Fuego/Combustión espontánea   | Escasa humedad                                    | Agregar agua  |
|   | Cigarrillos, chispas, etc.                        | Eliminar fuentes potenciales de fuego próximas a las pilas.                           |
|   |   | Si el fuego comenzó, romper las pilas incendiadas y extinguir completamente.          |


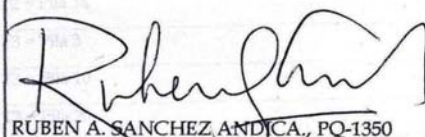
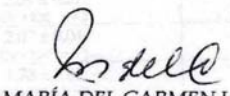
## Anexo 5. Planta de la distribución del terreno del centro de compostaje




Escala 1:100



## Anexo 6. Certificados de análisis de laboratorio

|  <b>UNIVERSIDAD DEL VALLE</b><br>Departamento de Química<br>Laboratorio de Análisis Industriales  |               |  |               |          |
|--|---------------|--|---------------|----------|
| <b>CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO</b>  |               |  |               |          |
| Número de registro: 41706  |               | Fecha de emisión: 12 de noviembre de 2006  |               |          |
| Empresa: PARTICULAR  |               | Solicitado por: Sra. Leidy Johanna Hernández<br>C.C. 1.107.035.575   |               |          |
| Dirección: Cr 85B No. 28-33  |               | Teléfono: 332 0357   | Fax:          |          |
| Nombre de la muestra: Restos Vegetales   |               |  |               |          |
| DETERMINACION  | RESULTADO     |  |               | MÉTODO   |
|  | Muestra No. 1 | Muestra No. 2  | Muestra No. 3 |          |
| Carbono orgánico oxidable total, en % (m/m)  | 29,7          | 22,1   | 30,62         | NTC-5167 |
| Nitrógeno como N, en % (m/m)   | 1,48          | 1,02   | 0,97          | NTC-370  |
|  |               |  |               |          |
|  |               |  |               |          |
|  |               |  |               |          |
|  |               |  |               |          |
|  |               |  |               |          |
|  |               |  |               |          |
|  |               |  |               |          |
|  |               |  |               |          |
| NOTA: NTC Significa Norma Técnica Colombiana del ICONTEC<br>Los anteriores resultados están reportados en base seca<br>Los anteriores análisis fueron elaborados por la Tecnóloga Química María del Carmen López P. Para cualquier información adicional sírvase citar el No. 41706 correspondiente a su muestra.<br>Resultados válidos únicamente para la(s) muestra(s) analizada(s) y no para otro(s) material(es) de la misma procedencia. La(s) muestra(s) analizada(s) se guardará(n) por el tiempo de dos meses a partir de la emisión de este informe, transcurrido este tiempo se desechará(n) o se devolverá(n) al cliente si éste lo solicita.<br>El presente documento no posee validez alguna sin el sello del laboratorio y las firmas respectivas. Se prohíbe su reproducción total o parcial, excepto con aprobación de la Universidad del Valle. |               |  |               |          |
| <br>RUBÉN A. SANCHEZ ANDICA., PQ-1350<br>Jefe<br>Laboratorio de Análisis Industriales   |               | <br>MARÍA DEL CARMEN LÓPEZ P.<br>Tecnóloga Química |               |          |
| Digitó: Alba Lucia Gómez   |               |  |               |          |
| Universidad del Valle<br>Ciudad Universitaria Meléndez<br>Teléfono. 2 - 333 4920 - Telefax 2 - 321 2145<br>Correo-e: labind@univalle.edu.co<br>Apartado Aéreo 25360<br>Cali - Colombia   |               |  |               |          |

## Certificados de análisis de laboratorio

|  <b>UNIVERSIDAD DEL VALLE</b><br>Departamento de Química<br>Laboratorio de Análisis Industriales |  |           |
|---|--|-----------|
| <b>CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO</b>   |  |           |
| Número de registro: 16407   | Fecha de emisión: 14 de junio de 2007            |           |
| Empresa: PARTICULAR   | Solicitado por: Srta. Leidy Johanna Hernández R. |           |
| Dirección: Cr. 85B No. 28-33  | Teléfono: 332 0357                               | Fax:      |
| Nombre de la muestra: Residuos de poda  |  |           |
| MUESTRA   | RESULTADO<br>Nitrógeno como N, en % (m/m)        | MÉTODO    |
| Fecha = 17 de abril   |  |           |
| T1 = Pila 1   | 1,52 ± 0,04<br>CV = 1,86 n = 2                   | NTC - 282 |
| T1 = Pila 22  | 1,36 ± 0,05<br>CV = 2,61 n = 2                   |           |
| T2 = Pila 24  | 1,86 ± 0,01<br>CV = 0,38 n = 2                   |           |
| T3 = Pila 20  | 1,46 ± 0,02<br>CV = 0,97 n = 2                   |           |
| T3 = Pila 23  | 1,57 ± 0,04<br>CV = 1,80 n = 2                   |           |
| T4 = Pila 18  | 2,03 ± 0,03<br>CV = 1,05 n = 2                   |           |
| T4 = Pila 19  | 2,11 ± 0,01<br>CV = 0,33 n = 2                   |           |
| Fecha = 6 de mayo   |  |           |
| T1 = Pila 22  | 1,47 ± 0,01<br>CV = 0,48 n = 2                   |           |
| T1 = Pila 12  | 2,06 ± 0,07<br>CV = 2,41 n = 2                   |           |
| T1 = Pila 15  | 1,52 ± 0,02<br>CV = 0,93 n = 2                   |           |
| T2 = Pila 21  | 1,64 ± 0,06<br>CV = 2,59 n = 2                   |           |
| T2 = Pila 4   | 1,69 ± 0,01<br>CV = 2,10 n = 2                   |           |
| T2 = Pila 14  | 1,46 ± 0,04<br>CV = 1,94 n = 2                   |           |
| T3 = Pila 3   | 2,09 ± 0,07<br>CV = 2,36 n = 2                   |           |
| T3 = Pila 10  | 2,07 ± 0,04<br>CV = 1,37 n = 2                   |           |
| T3 = Pila 20  | 1,78 ± 0,02<br>CV = 0,79 n = 2                   |           |
| T4 = Pila 2   | 2,03 ± 0,02<br>CV = 0,70 n = 2                   |           |

DOCUMENTO ORIGINAL

Universidad del Valle  
 Ciudad Universitaria Meléndez  
 Teléfono. 2 - 333 4920 - Telefax 2 - 321 2145  
 Correo-e: labind@quimica.univalle.edu.co  
 Apartado Aéreo 25360  
 Cali - Colombia

## Certificados de análisis de laboratorio

|   |   |  |
|---|---|--|
|  <b>UNIVERSIDAD DEL VALLE</b><br>Departamento de Química<br>Laboratorio de Análisis Industriales   |   |  |
| <b>CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO</b>   |   |  |
| T4 = Pila 16  | $1,96 \pm 0,04$<br><small>CV = 1,44   n = 2</small> |  |
| T4 = Pila 11  | $1,87 \pm 0,01$<br><small>CV = 0,38   n = 2</small> |  |
| NOTA: Los anteriores resultados están reportados en base seca   |   |  |
| Los anteriores análisis fueron elaborados por el Tecnólogo Químico Yimizon Palomeque Arias Para cualquier información adicional sírvase citar el No 16407 correspondiente a la muestra.   |   |  |
| Resultados válidos únicamente para la(s) muestra(s) analizada(s) y no para otro(s) material(es) de la misma procedencia. La(s) muestra(s) analizada(s) se guardará(n) por el tiempo de dos meses a partir de la emisión de este informe, transcurrido este tiempo se desechará(n) o se devolverá(n) al cliente si éste lo solicita. |   |  |
| El presente documento no posee validez alguna sin el sello del laboratorio y las firmas respectivas. Se prohíbe su reproducción total o parcial, excepto con aprobación de la Universidad del Valle.  |   |  |
| <br><b>RUBEN A. SANCHEZ ANDICA., PQ-1350</b><br>Jefe<br>Laboratorio de Análisis Industriales  |   | <br><b>YIMIZON PALOMEQUE ARIAS</b><br>Tecnólogo Químico |

Digito: Alba Lucia Gómez

Universidad del Valle  
 Ciudad Universitaria Meléndez  
 Teléfono. 2 - 333 4920 - Telefax 2 - 321 2145  
 Correo-e: labind@quimica.univalle.edu.co  
 Apartado Aéreo 25360  
 Cali - Colombia



## Certificados de análisis de laboratorio

| UNIVERSIDAD DEL VALLE  |               |               |  |          |
|--|---------------|---------------|--|----------|
| Departamento de Química<br>Laboratorio de Análisis Industriales  |               |               |  |          |
| CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO   |               |               |  |          |
| Número de registro: 41706  |               |               | Fecha de emisión: 12 de noviembre de 2006                          |          |
| Empresa: PARTICULAR  |               |               | Solicitado por: Sra. Leidy Johanna Hernández<br>C.C. 1.107.035.575 |          |
| Dirección: Cr 85B No. 28-33  |               |               | Teléfono: 332 0357   | Fax:     |
| Nombre de la muestra: Restos Vegetales   |               |               |  |          |
| DETERMINACION  | RESULTADO     |               |  | MÉTODO   |
|  | Muestra No. 1 | Muestra No. 2 | Muestra No. 3  |          |
| Carbono orgánico oxidable total, en % (m/m)  | 29,7          | 22,1          | 30,62  | NTC-5167 |
| Nitrógeno como N, en % (m/m)   | 1,48          | 1,02          | 0,97   | NTC-370  |
|  |               |               |  |          |
|  |               |               |  |          |
|  |               |               |  |          |
|  |               |               |  |          |
|  |               |               |  |          |
|  |               |               |  |          |
| NOTA: NTC Significa Norma Técnica Colombiana del ICONTEC   |               |               |  |          |
| Los anteriores resultados están reportados en base seca  |               |               |  |          |
| Los anteriores análisis fueron elaborados por la Tecnóloga Química María del Carmen López P. Para cualquier información adicional sírvase citar el No. 41706 correspondiente a su muestra.   |               |               |  |          |
| Resultados válidos únicamente para la(s) muestra(s) analizada(s). No para otro(s) material(es) de la misma procedencia. La(s) muestra(s) analizada(s) se guardará(n) por el tiempo de dos meses a partir de la emisión de este informe, transcurrido este tiempo se desechará(n) o se devolverá(n) al cliente si éste lo solicita. |               |               |  |          |
| El presente documento no posee validez alguna sin el sello del laboratorio y las firmas respectivas. Se prohíbe su reproducción total o parcial, excepto con aprobación de la Universidad del Valle.   |               |               |  |          |
|  |               |               |  |          |
| RUBEN A. SANCHEZ ANDICA., PQ-1350  |               |               | MARÍA DEL CARMEN LÓPEZ P.  |          |
| Jefe   |               |               | Tecnóloga Química  |          |
| Laboratorio de Análisis Industriales   |               |               |  |          |

Universidad del Valle  
Ciudad Universitaria Meléndez  
Teléfono. 2 - 333 4920 - Telefax 2 - 321 2145  
Correo-e: labind@univalle.edu.co  
Apartado Aéreo 25360  
Cali - Colombia

## Certificados de análisis de laboratorio

**CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA**  
**LABORATORIO AMBIENTAL**  
**ANALISIS DE SUELOS**  
**PAGINA 1 DE 1**

Propietario: Susana Cardona  
 Predio: EMAVI  
 Municipio: Cali  
 Corregimiento: -----  
 Vereda: -----  
 Tipo de análisis: Caracteriz. y elem. menores  
 Altura: 960  
 Fecha de entrada: 24 de Octubre de 2007  
 Fecha de salida: 15 de Noviembre de 2007

No. Laboratorio: 269      Trat. 1  
 No. Laboratorio: 270      Trat. 2  
 No. Laboratorio: 271      Trat. 3  
 No. Laboratorio: 272      Trat. 4

| No. LAB. | PROF.<br>cm | pH   | HUMEDAD<br>% | C.O.<br>% | N TOTAL<br>% | C/N   | M.O.<br>% | P<br>% | CENIZAS<br>% |
|----------|-------------|------|--------------|-----------|--------------|-------|-----------|--------|--------------|
| 269      | -           | 6,76 | 8,47         | 20,32     | 1,29         | 15,75 | 35,03     | 0,03   | 40,58        |
|          |             |      | 62,44*       |           |              |       |           |        |              |
| 270      | -           | 6,94 | 8,80         | 16,76     | 1,28         | 13,09 | 28,89     | 0,03   | 41,65        |
|          |             |      | 57,48*       |           |              |       |           |        |              |
| 271      | -           | 7,15 | 8,69         | 17,11     | 1,51         | 11,33 | 29,51     | 0,03   | 38,57        |
|          |             |      | 58,94*       |           |              |       |           |        |              |
| 272      | -           | 6,95 | 7,77         | 20,61     | 1,66         | 12,42 | 35,53     | 0,03   | 44,04        |
|          |             |      | 55,73*       |           |              |       |           |        |              |

| No. LAB. | Ca<br>% | Mg<br>% | Na<br>% | K<br>% | C.I.C<br>me/100g | ELEMENTOS MENORES |             |             |             |
|----------|---------|---------|---------|--------|------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|
|          |         |         |         |        |                  | Fe<br>mg/Kg       | Mn<br>mg/Kg | Zn<br>mg/Kg | Cu<br>mg/Kg |
| 269      | 0,70    | 0,19    | 0,04    | 0,32   | 110,16           | < 1,0**           | 5,99        | 0,76        | 0,12        |
| 270      | 0,78    | 0,20    | 0,04    | 0,35   | 108,76           | < 1,0**           | 3,16        | < 0,15**    | < 0,10**    |
| 271      | 0,80    | 0,19    | 0,03    | 0,39   | 120,47           | < 1,0**           | 2,77        | < 0,15**    | < 0,10**    |
| 272      | 0,73    | 0,21    | 0,04    | 0,33   | 110,29           | < 1,0**           | 4,61        | 0,24        | < 0,10**    |

\*\* Señal mínima detectada por el método como límite de detección

\* Humedad inicial en base húmeda

**OBSERVACIONES:** Todos los resultados se expresan teniendo en cuenta la humedad en base húmeda

  
**Ing. Luisa Marina Baena A.**  
 Profesional Especializado

Informe No. 1511

| Métodos de análisis                                   |
|---|
| Acidez interca. y Al: KCl 1 N; M.O.: Walkley & Black; |
| P: Bray II; Fe, Mn, Zn y Cu: Doble ácido;             |
| C.I.C, Ca, Mg, Na y K: AcONH4 1 N pH 7;               |
| pH: Potenciométrico. Nitrógeno: Kjeldahl              |





## Certificados de análisis de laboratorio

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA  
DIRECCIÓN TÉCNICA AMBIENTAL

### LABORATORIO AMBIENTAL

#### ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SÓLIDOS

|                   |                                 |              |  |
|-------------------|---------------------------------|--------------|--|
| LOCALIDAD         | : Cali                          | SOLICITANTE  | : Escuela Militar de Aviación Marco Fidel Suárez |
| FECHA DE MUESTREO | : Octubre 24 de 2007            | REP. LEGAL   | : Brigadier Gral. José Javier Pérez Mejía        |
| TIPO DE MUESTRA   | : Compost                       | DIRECCION    | : Carrera 8 No. 58-67                            |
| TOMADA POR        | : Susana Córdoba y L. Hernández | TELEFONO     | : 4881000 ext. 1301                              |
| FECHA DE ENTRADA  | : Octubre 24 de 2007            | CEDULA O NIT | : 800.141.621-0                                  |
| ENTREGADA POR     | : Susana Córdoba y L. Hernández |              |  |
| TELEFONO          | : 4881000 ext. 1301             |              |  |

|                   |                         |        |  |
|-------------------|-------------------------|--------|--|
| SITIO DE MUESTREO | : SISTEMA DE COMPOSTAJE |        |  |
| MUESTRA N°        | : 0213 Tratamiento 1    | Hora : |  |
| MUESTRA N°        | : 0214 Tratamiento 2    | Hora : |  |
| MUESTRA N°        | : 0215 Tratamiento 3    | Hora : |  |
| MUESTRA N°        | : 0216 Tratamiento 4    | Hora : |  |

| PARÁMETROS         | Un  | 0213     | 0214     | 0215     | 0216     |
|--------------------|-----|----------|----------|----------|----------|
| Coliformes Totales | NMP | 2,40E+07 | 2,40E+07 | 9,30E+05 | 2,30E+06 |
| Coliformes Fecales | NMP | 2,40E+07 | 2,30E+06 | 2,30E+05 | 2,30E+06 |


Fecha de Análisis : 29/10/2007 al 01/11/2007

OBSERVACIONES : \_\_\_\_\_

NOTA: S.I.: Sin Información

NOTA: Estos resultados corresponden a las muestras entregadas por el usuario en el Laboratorio.

ANEXO: Listado de métodos analíticos

  
Luisa Marina Baena A.  
Laboratorio Ambiental



Laboratorio Ambiental - CVC  
Carrera 53 N° 13 A 50  
Teléfono 331 77 25  
Cali - Colombia

Informe N° 1514 - 19/11/2007

Varios externos 2007